DIE NATURWISSENSCHAFTEN

26. Jahrgang | 15. Juli 1938 | Heft 28

Über die Konstitutionsaufklärung des Vitamins E.[1]

Von W. John, Göttingen.

Im Jahre 1922 beschrieben Evans und Bishop an der Universität Berkeley in Californien zum erstenmal ihre Beobachtung, daß Tiere durch bestimmte Diäten die Fähigkeit zur normalen Fortpflanzung verlieren und daß diese so erzeugten künstlichen Sterilitäten durch Zusatz gewisser natürlicher Stoffe zur Nahrung geheilt werden können. Sie bezeichneten den Nahrungsfaktor, dessen Fehlen die Sterilität verursacht und dessen Zusatz zur Nahrung die erzeugte Sterilität wieder zu heilen imstande ist, zunächst als Vitamin X. Später nannte Evans diesen Faktor im Anschluß an die McCollumsche alphabetische Buchstabenbezeichnung der Vitamine Vitamin E.

Die Evansschen Versuche zeigten folgendes charakteristisches Erscheinungsbild. Junge Ratten werden auf eine Diät gesetzt, die die wesentlichen Nährstoffe Eiweiß, Fette und Kohlehydrate in gereinigter Form, dazu Wasser und Nährsalze enthält mit einem Zusatz von Extrakten, deren Wichtigkeit als Vitaminlieferanten bekannt war. Die jungen Tiere zeigten zunächst eine durchaus normale Entwicklung, insbesondere normale Freßlust und einen normalen Anstieg des Gewichtes. Bei allen bekannten avitaminotischen Erscheinungen ist mangelnde Freßlust und Gewichtsabfall ein erstes Symptom. Bei normaler Lebensweise sind keinerlei Mangelerscheinungen äußerlich zu beobachten, diese sind lediglich im Verlaufe der Fortpflanzungsvorgänge festzustellen. Nach der Entwicklung zur geschlechtlichen Reife, nach mehrmonatiger Diätbehandlung, werden die *weiblichen* Tiere mit gesunden, normalernährten männlichen Tieren zusammengebracht. In normaler Weise tritt Befruchtung ein, und die weiblichen Tiere zeigen einen normalen Beginn der Gravidität. Je nach der Dauer der Vorbehandlung treten nach der Mitte der Schwangerschaft Störungen ein, die für den Grad der Avitaminose charakteristisch sind. Als erstes Anzeichen einer noch geringen Avitaminose beobachtet man einen noch vollständig normalen Verlauf der gesamten Schwangerschaft, die Jungen kommen normal und gesund zur Welt, sie werden aber vom Muttertier nicht aufgezogen, d. h. sie werden nicht gesäugt und sterben aus Nahrungsmangel. Häufig werden die jungen Tiere vom Muttertier nach einiger Zeit oder gleich nach der Geburt aufgefressen. Bei weiter fortgeschrittener Avitaminose, wenn die Tiere längere Zeit mit Diät behandelt worden waren, kommen die Jungen tot zur Welt, oder es tritt Frühgeburt oder Fehlgeburt ein, und die Jungen kommen unvollständig entwickelt zur Welt. Im Zustande einer vollentwickelten Avitaminose beobachten wir das charakteristische Bild der sog. Resorptionssterilität. Die Schwangerschaft beginnt nach normaler Konzeption; bis zu ihrer Mitte, d. h. bis etwa zum 10. Tage, beobachten wir den für jede Schwangerschaft charakteristischen Anstieg des Gewichtes. Vom 11. Tage ab beginnt ein Rückgang des Gewichtes, die bereits entwickelten Foeten sterben ab und werden durch intrauterine Autolyse wieder vollständig zum Verschwinden gebracht. Der Uterus bildet sich in wenigen Tagen zum normalen, nichtgraviden Zustand zurück, es treten erneut Brunsterscheinungen auf, und es kann wieder neue Konzeption erfolgen, die dann regelmäßig wieder zu derselben Erscheinung einer Resorption führt.

In diesem Zustande, nach einmal erfolgter Resorption, sind die Tiere für ein Testverfahren geeignet. Die auf Vitamin E-Wirksamkeit zu untersuchende Substanz wird den sterilen Tieren am Tage des Belegens oder einige Tage vor oder nachher in einmaliger Dosis per os eingegeben. Enthielt die zu prüfende Dosis genügend Vitamin E, so gewährleistet sie einen vollständig normalen Verlauf der Schwangerschaft, normale Geburt und normale Aufzucht der Jungen. Von reinen Vitamin E-Präparaten genügt eine einmalige Dosis von 3 mg zur vollständigen Heilung der Resorptionssterilität. Diese Heilung gelingt in 80—90% aller Fälle und dient als sicherer Test auf Vitamin E. Fälle, in denen nach erfolgter Resorption ohne Vitamin E-Gaben wieder normale Fruchtbarkeit eingetreten wäre, sind nicht bekannt geworden.

Das bei *männlichen* Tieren beobachtete Erscheinungsbild der E-Avitaminose ist ein gänzlich anderes. Die ersten Schädigungen zeigen sich in der Spermatogenese. Die männlichen Tiere zeigen zunächst noch normales Ejakulat, doch hat dieses die Fähigkeit zur Befruchtung verloren. Nach etwa 5monatiger Diätbehandlung zeigen die Spermien degenerative Veränderungen, sie verlieren ihre Beweglichkeit, dann werden sie mißgestaltet, sie verlieren ihre Geißeln oder zeigen deren mehrere, es treten sehr große Zellen neben sehr kleinen auf; in fortgeschritteneren Stadien der Avitaminose sind nur noch Bruchstücke von Spermien vorhanden. Parallel mit dieser Degeneration der Spermien geht eine Atrophie der Keimzellen. Die Hoden gehen etwa auf die Hälfte ihres Gewichtes zurück. Nach 8—9 Monaten sind alle Spermien vollständig verschwunden, nach einigen weiteren Monaten erlischt jegliches sexuelle Interesse der Tiere.

[1] Vortrag, gehalten vor der Göttinger Chemischen Gesellschaft am 14. V. 1938.

Weiterhin sind Veränderungen im Haarkleid zu beobachten, dieses wird weich und wollig. Diese Veränderungen dürften indessen wohl sekundärer Natur sein.

Die avitaminotischen Störungen bei männlichen Tieren sind nur in frühen Stadien durch Vitamin E heilbar. Fortgeschrittene degenerative Veränderungen der Keimzellen sind irreparabel. Darin unterscheidet sich die Vitamin E-Avitaminose bei männlichen Tieren wesentlich von der bei weiblichen Tieren, bei denen alle avitaminotischen Störungen durch Vitamin E vollständig heilbar sind. Bei männlichen Tieren sind die degenerativen Veränderungen frühzeitig histologisch faßbar, bei weiblichen Tieren sind histologisch erkennbare Veränderungen der Ovarien nicht festzustellen. Dieser auffällige Unterschied der E-Avitaminose bei Männchen und bei Weibchen hat schon früh zur Annahme geführt, daß das für männliche Tiere notwendige Vitamin von dem für weibliche Tiere verschieden ist. Sichere Anhaltspunkte für eine solche Unterscheidung haben indessen bisher nicht aufgefunden werden können, so daß es bis heute als wahrscheinlich angesehen wird, daß die Antisterilitätsfaktoren für männliche und weibliche Tiere identisch sind.

Das sind in kurzen Zügen die von EVANS und Mitarbeitern gemachten physiologischen Befunde, die sie im Verlaufe von über 10 Jahren durch viele tausend Rattenversuche eingehend studiert und gesichert haben.

Zahlreiche andere Bearbeiter konnten zunächst diese Versuche nicht bestätigen. Bis zum Jahre 1926 sind noch Zweifel an der Existenz des Vitamin E geäußert worden. Es hat sich aber in allen solchen Fällen, wie z. B. bei den Versuchen von HOGAN und HARSHAW oder ANDEREGG und NELSON zeigen lassen, daß die zur Diät verwandten Nährstoffe nicht genügend Vitamin E-frei gewesen waren.

Zwei andere Laboratorien kamen zunächst unabhängig von EVANS zu ähnlichen Ergebnissen wie dieser. SURE untersuchte seit 1919 den Einfluß der Aminosäuren auf die Fortpflanzung. Auch er erzielte bei Ratten durch geeignete Diät Sterilitäten, die weder mit den bekannten Vitaminen noch mit Aminosäuren geheilt werden konnten. Er fand, daß gewisse Pflanzenmaterialien imstande waren, die Sterilitäten zu beheben, und erkannte nach Bekanntwerden der EVANSschen Versuche die Identität seines Faktors mit dem EVANSschen Vitamin X.

MATTILL untersuchte ebenfalls seit 1919 die Auswirkung reiner Milchdiäten an Ratten und erzielte Sterilitäten, die dasselbe Erscheinungsbild wie die EVANSschen Versuche zeigten.

Nach dieser Zeit ist das Vitamin E Gegenstand zahlreicher Versuche in physiologischen Laboratorien gewesen. Es ist indessen nicht möglich gewesen, über die von EVANS beschriebenen Beobachtungen hinaus wesentliche weitere Feststellungen zu machen, insbesondere ist es nicht möglich gewesen, über den Mechanismus der Funktion des Vitamins E Aufklärung zu erlangen. Deshalb seien nur einige Beobachtungen kurz angedeutet. Bei fortgeschrittener Avitaminose werden Veränderungen der Muskeln beobachtet, diese werden wachsig und zeigen gelbliches Aussehen. Es wurden nervöse Störungen insbesondere der hinteren Extremitäten wie auch vollständige Lähmung beschrieben. Letztere werden durch Vitamin E nicht geheilt und dürften daher wohl als sekundäre Erscheinungen anzusprechen sein. Von besonderem Interesse sind Veränderungen der Hypophyse. Diese zeigt hypertrophische Zellveränderungen, Vermehrung der basophilen Zellen, die alle Übergangsformen zu den sog. Kastrationszellen erkennen lassen, wie sie in charakteristischer Weise nach erfolgter Kastration auftreten. Nach Vitamin E-Gaben zeigt die Hypophyse wieder normales Bild. Die am Männchen beobachteten Veränderungen des Haarkleides sind sowohl durch Vitamin E als auch durch Hypophysenvorderlappenhormon heilbar. Diese Tatsache, wie auch der hohe Vitamin E-Gehalt der Hypophyse, gab Anlaß zu vielerlei Theorien, die eine Umwandlung von Vitamin E in Hypophysenhormon für wahrscheinlich hielten oder das Vitamin E als eine Art Reizsubstanz für das gonadotrope Hormon ansehen wollten. Auch Wechselwirkungen mit den anderen Sexualhormonen sind diskutiert worden. Es erübrigt sich hier, auf diese Theorien einzugehen, da sie alle über den Wirkungsmechanismus des Vitamins E keinerlei sichere Anhaltspunkte zu erbringen imstande waren.

Ein Vitamin E-Bedarf ist außer für Ratten für viele andere Tiere festgestellt worden. Zahlreiche Beobachtungen in der Tierzucht haben gezeigt, daß E-Avitaminosen keine seltenen Erscheinungen sind. Von Kaninchen ist bekannt, daß sie bei ungeeigneter Kost dazu neigen, ihren Jungen die Aufzucht zu verweigern, sie aufzufressen, oder daß sie Fehlgeburten zeigen. Ähnliche Erscheinungen sind von vielen Haustieren bekannt. Bei Schweinen ist häufig beobachtet worden, daß in großen Landstrichen, wie eine Art Seuche, die Tiere zu Fehlgeburten neigen. Es liegt nahe anzunehmen, daß diese Erscheinung auf einen Vitamin E-Mangel der Nahrung, etwa infolge ungünstiger Vegetationsbedingungen, zurückzuführen ist. Auch für Geflügel scheint das Vitamin E Bedeutung zu besitzen. ENDER in Norwegen konnte in großen Hühnerfarmen die Brutergebnisse durch Vitamin E-Zugaben zur Kost von 40% bis auf 90% steigern. Interessant ist, daß Bienen ihren Königinnenlarven Vitamin E-haltige Stoffe zur Nahrung zusetzen sollen, um ihre Entwicklung zum geschlechtstüchtigen Tiere zu gewährleisten.

Die Bedeutung des Vitamins E für den *Menschen* ist noch nicht mit Sicherheit abzuschätzen und bedarf noch der weiteren klinischen Erforschung. Die beim Menschen beobachteten Sterilitäten können sehr verschiedenartige Ursache haben, wobei die Ernährung nur als einer von vielen

Faktoren angesprochen werden darf. In einer Reihe von Kliniken sind Beobachtungen gemacht worden, die bei Neigung zu Frühgeburt oder Fehlgeburt eine günstige Beeinflussung durch Vitamin E-Gaben festgestellt haben. Auch bei Männern sind Heilungen gewisser Arten von Sterilitäten beschrieben worden.

Das verhältnismäßig seltene Auftreten E-avitaminotischer Erscheinungen beim Menschen dürfte wohl damit zusammenhängen, daß das Vitamin E in vielen unserer wichtigen Nahrungsmittel reichlich vorhanden ist. Durch unsere gewöhnliche vielseitige Kost und durch die Tatsache, daß bei der haushaltsüblichen Zubereitung das Vitamin E wenig geschädigt wird, wird unser Vitamin E-Bedarf in der Regel zur Genüge gedeckt. Zu geringe Vitamin E-Zufuhr ist deshalb nur in Zeiten der Not, etwa Kriegszeiten, zu befürchten. Wahrscheinlich steht damit auch in Zusammenhang, daß bei Frauen sehr viele durch den Krieg bedingte Sterilitäten beobachtet worden sind. Zeitweilig zu geringe Zufuhr an Vitamin E kompensiert der Organismus durch seine große Speicherungsfähigkeit für dieses Vitamin in seinen Fettdepots und Muskelgeweben.

Über die Verbreitung des Vitamins E gibt uns die folgende Tabelle Auskunft. Es sind darin die Mengen angegeben, die bei Ratten in einmaliger Dosis Resorptionssterilität zu heilen vermögen.

Tabelle 1. Verbreitung des Vitamins E.

	Curative Dosis
Weizenkeimlinge (trocken) . . .	250 mg
,, -Öle	75 mg
Grüner Salat (Gemüse)	2,5 g
,, (trocken)	300—500 mg
Alfalfaheu (trocken)	600 mg
Erdnüsse	etwa 1 g
Baumwollsamen	etwa 1 g
Palm-, Lein-, Soja-Öle	1—2 g
Placenta	1—2 g
Hypophysen-Vorderlappen . . .	1—2 g
Schweinefett	3—5 g
Rindsmuskel	3—5 g
Rindsleber (Niere)	5—10 g
Bananen, Apfelsinen	20—30 g

Wir entnehmen der Tabelle, daß das *Weizenkeimlingsöl* die reichste natürliche Quelle des Vitamins E darstellt. Es ist deshalb zuerst von EVANS zu seinen Versuchen zur Reindarstellung des Vitamins E verwendet worden. Die *Aufarbeitung* geht, in kurzen Zügen geschildert, etwa den folgenden Weg. 10 kg getrocknete Weizenkeimlinge werden mit Chloroform oder Äther extrahiert oder besser ausgepreßt. Man erhält etwa 1 kg Öl, das verseift und von den verseiften Anteilen befreit wird. Aus den unverseiften Anteilen werden durch Behandeln mit geeigneten Lösungsmitteln die Sterine abgeschieden, die etwa 90% des Gesamt-Unverseifbaren ausmachen. Die letzten Reste der Sterine werden durch Digitonin gefällt. Es bleiben etwa 15 g eines sterinfreien, gelblichen Öles, das mit rund 10—20 mg Vitamin E-wirksam ist. Die weitere Reinigung hat sich zunächst als sehr schwierig erwiesen. EVANS erzielte eine weitere Anreicherung durch Verteilen zwischen verschiedenen Lösungsmitteln. Eine Hochvakuumdestillation erwies sich als ungeeignet. Einen gewissen Fortschritt brachte die Anwendung der chromatographischen Adsorption durch DRUMMOND und Mitarb., indessen gelang es diesen, zwar zu sehr aktiven Fraktionen, aber nicht zu kristallisierten Derivaten des Vitamins E zu gelangen.

An solchen Ölen konnten bereits wesentliche *Eigenschaften des Vitamins* beobachtet werden. Wichtige Befunde sind besonders von OLCOTT festgestellt worden. Charakteristisch für alle Vitamin E-wirksamen Öle ist ein Maximum des Ultraviolettspektrums bei etwa 295 mμ. Der Vitamin E-wirksame Faktor ist beständig gegen Hitze bis etwa 200°, er ist beständig gegen Säuren, sogar gegen konz. Schwefelsäure, er verträgt Erhitzen mit konz. Salzsäure bis über 100°. Alkali vermindert die Wirksamkeit der Öle nur sehr wenig, besonders dann, wenn Verseifungen mit alkoholischer Lauge in indifferenter Gasatmosphäre vorgenommen werden. Luft und Licht sind ohne Einwirkung; ultraviolettes Licht wirkt zerstörend. Das Vitamin ist oxydierbar durch Silbernitrat, Eisentrichlorid, Brom, Benzopersäure. Die Oxydierbarkeit durch Eisenchlorid hat dazu Verwendung gefunden, Nahrungsstoffe Vitamin E-frei zu machen. Bemerkenswert ist die Zerstörung des Vitamins durch ranziges Fett, wahrscheinlich durch die in diesem enthaltenen Peroxyde. Gewisse Antioxydantien oder Inhibitoren, wie Phenole und Hydrochinone, schützen das Vitamin vor dieser Zerstörung. Das Vitamin ist verätherbar und veresterbar, besitzt also eine Hydroxylgruppe.

Die Kenntnis dieser Eigenschaften des Vitamins ermöglichte dann auch seine *Reindarstellung*. Die endgültige Isolierung des Vitamins E ist im Göttinger Laboratorium durch Schüler von Prof. EVANS, Herrn und Frau EMERSON, durchgeführt worden. Prof. BUTENANDT interessierte sich damals für diese Versuche, und es dürfte wohl auf eine Anregung von seiner Seite zurückzuführen sein, zur Isolierung des Vitamins E die Allophansäureester zu verwenden, die sich im Göttinger Laboratorium in den Händen von Prof. WINDAUS schon mehrfach zur Charakterisierung schwer kristallisierender Öle bewährt hatten. Es gelang, aus den an Vitamin E angereicherten Ölen zwei kristallisierte Allophanate zu erhalten, die als Tokopherole bezeichnet wurden. Das α-Tokopheryl-allophanat schmilzt bei 159—160°. Durch Verseifung des Allophanates erhält man das freie α-Tokopherol, ein schwach gelbliches Öl von der Formel $C_{29}H_{50}O_2$, das im Rattentest mit 3 mg als Antisterilitätsfaktor wirksam ist. Aus den Mutterlaugen des α-Tokopheryl-allophanates erhält man ein zweites, besser kristallisiertes Allophanat vom Schmp. 138°. Der dazu gehörige freie Alkohol schien dem α-Tokopherol isomer zu sein und ist im Rattentest mit 5 mg wirksam.

Die Formel der Tokopherole zeigt eine augenfällige Ähnlichkeit mit der Formel der Sterine. So besitzt das Sitosterin, das eng vergesellschaftet mit dem Vitamin E zusammen vorkommt, die Formel $C_{29}H_{50}O$. Es liegt daher sehr nahe anzunehmen, daß die Tokopherole Sterine seien, und weiter, daß sie möglicherweise dem Sitosterin eng verwandt seien und sich von diesen vielleicht nur durch die Anordnung eines einzigen Sauerstoffatoms unterschieden.

Diese vorläufige Hypothese, daß die Vitamin E-Faktoren Sterine seien, veranlaßte uns im Göttinger Laboratorium, die Untersuchung der Tokopherole mit in unser Arbeitsprogramm einzubeziehen. Vor nunmehr etwas über zwei Jahren begann ich anfänglich in gemeinsamer Arbeit mit Frl. Dr. MÜLLER und Dr. THIELE auf Veranlassung von Prof. WINDAUS, auf eine Anregung der Firma Merck hin, die Bearbeitung der Vitamin E-Faktoren aufzunehmen.

Wir hatten zunächst beträchtliche Schwierigkeiten zu überwinden. Zunächst galt es, die Methodik der biologischen Prüfung auf Vitamin E-Wirksamkeit zu erlernen. Frl. v. GUENTHER hat in dankenswerter Weise bei der Firma Merck in Darmstadt die Handhabung der Tierversuche studiert. Anfänglich schienen die Tierversuche auch bei uns ohne Schwierigkeiten reproduzierbar zu sein, dann aber hatten wir Schwierigkeiten, als wir neue Sorten von Fett zur Nahrung verwendeten. Es stellte sich heraus, daß Fette, die nicht genügend lange gelagert waren, noch beträchtliche Mengen Vitamin E enthielten und erst nach Eintritt einer gewissen Ranzigkeit zur Diät geeignet waren. Es dauerte etwa eineinhalb Jahre, bis wir mit Sicherheit eine größere Anzahl Ratten zur Resorptionssterilität bringen konnten.

Eine zweite Schwierigkeit bestand in der Aufarbeitung der Weizenkeimlingsöle, die uns die Firma Merck in reichlicher Menge zur Verfügung stellte. Wir führten unsere Aufarbeitungen durch, sowohl nach den Angaben von EVANS, wie nach den Angaben von DRUMMOND. Beide Verfahren zeitigten nicht den gewünschten Erfolg. Trotz guter Wirksamkeit der Öle gelang es uns, nur insgesamt 200—300 mg α-Tokopherol zu isolieren. Aus den Mutterlaugen des α-Tokopheryl-allophanates erhielt ich in etwas besserer Ausbeute ein sehr gut kristallisiertes Allophanat vom Schmp. 147°. Die Isolierung eines β-Tokopheryl-allophanates vom Schmp. 138° gelang uns nicht. Ich hielt das Allophanat 147° für einen neuen charakteristischen Vertreter der Vitamin E-Gruppe, da sein Spektrum höher war als das des α-Tokopherols, da es eine Drehung von +7° besaß, während eine Drehung von den EVANSschen Tokopherolen nicht bekannt war, und da seine Zusammensetzung besser einer Formel $C_{28}H_{48}O_2$ entsprach, während die EVANSschen Tokopherole als isomere Alkohole der Formel $C_{29}H_{50}O_2$ angesprochen wurden. Ich bezeichnete den neuen Faktor als Cumotokopherol, aus Gründen, die aus dem Folgenden hervorgehen; er besitzt eine Wirksamkeit im Rattentest von 5 bis 8 mg. Die Verschiedenheit von den bisher bekannten Tokopherolen schien mir sicher zu sein, als EVANS noch ein weiteres, sicher zu unterscheidendes γ-Tokopheryl-allophanat vom Schmp. 135° beschrieb. Es hat sich dann gezeigt, daß Cumotokopherol und β-Tokopherol identisch waren, als es EVANS gelang, den Schmp. seines β-Tokopheryl-allophanates durch weitere Kristallisation auf 145—146° zu erhöhen. Prof. EVANS hatte die Freundlichkeit, uns eine Probe seines β-Tokopheryl-allophanates zuzusenden, und ich konnte mich von der Identität seines Stoffes mit meinem Cumotokopheryl-allophanat in allen Eigenschaften überzeugen. Später ist vermutlich dasselbe Allophanat von KARRER und Mitarb. unter dem Namen Neotokopheryl-allophanat vom Schmp. 143—144° beschrieben worden.

Die Weizenkeimöle der Ernte 1936 brachten uns noch sehr viel schlechtere Ausbeute an Tokopherolen. Es gelang lediglich die Isolierung geringer Mengen von Cumotokopherol. Erst nach etwa zweijährigen Bemühungen gelang es uns, aus Weizenkeimlingsölen amerikanischer Herkunft mehrere Gramm Tokopherole zu isolieren. Am geeignetsten zur Aufarbeitung erwies sich ein Verfahren, das eine chromatographische Adsorption der freien Tokopherole vermeidet, da wir wiederholt Anzeichen dafür beobachteten, daß die reinen Tokopherole nicht völlig stabil gegen dieses Verfahren sind. Wir haben stets die Öle zuerst allophaniert und erst dann die Ester einer chromatographischen Aufteilung unterworfen. Auf diesem Wege gelang es stets leicht, α-Tokopheryl- wie auch Cumotokopheryl-allophanat zu isolieren.

Die wichtigste Aufgabe zur Aufklärung der Tokopherole wäre nun gewesen, unsere Hypothese, daß die Tokopherole Sterine seien, zu prüfen. Wir hatten lange die Absicht, eine Selendehydrierung der Tokopherole durchzuführen, um aus ihnen gegebenenfalls einen Kohlenwasserstoff zu fassen, der das Ringskelett der Tokopherole bewiesen hätte. Zu einer solchen Reaktion waren etwa 2—3 g Substanz notwendig. Da uns in den ersten Jahren unserer Arbeit aber nur wenige 100 mg der Tokopherole zur Verfügung standen, mußten wir auf die Durchführung einer Selendehydrierung verzichten.

Ich beschäftigte mich daher in erster Linie mit dem Studium der *Spektren der Tokopherole*, um wenn möglich aus ihnen Anhaltspunkte für die Struktur der Tokopherole zu gewinnen. Die Spektren der Tokopherole zeigen eine interessante Erscheinung, die schon von EVANS beobachtet wurde. Alle Ester der Tokopherole absorbieren wesentlich weniger stark als die freien Tokopherole, und das Absorptionsmaximum wird durch die Veresterung um etwa 20 mμ nach kürzeren Wellen verschoben. Diese Eigenart, für die EVANS keine Erklärung geben konnte, da er die Tokopherole für Alkohole ansah, geht deutlich aus Fig. 1 hervor.

Bei der Durchsicht der Literatur fand ich, daß das Phenylacetat sehr viel niedriger und kurzwelliger absorbiert als das freie Phenol. Um auch ein mehrfach substituiertes und höher molekulares

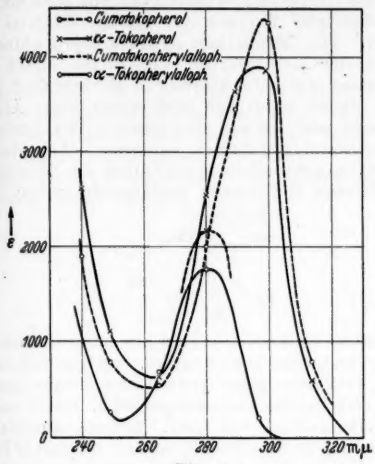


Fig. 1.

Phenol in seinem spektralen Verhalten mit den Tokopherolen vergleichen zu können, habe ich die Absorptionsspektren von Oestron und Oestronacetat aufgenommen.

Wie Fig. 2 zeigt, ergibt sich in der Tat eine überraschende Ähnlichkeit im spektralen Ver-

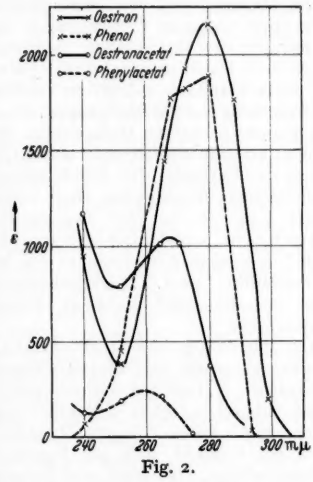


Fig. 2.

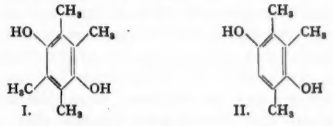
halten des Follikelhormons und der Antisterilitätsfaktoren. Ich neigte daher zu der Ansicht, daß auch die Tokopherole keine Alkohole, sondern Phenole seien. Tatsächlich zeigte sich, daß im Verhalten gegen verschiedene Oxydationsmittel eine große Ähnlichkeit zwischen Phenolen und freien Tokopherolen einerseits und Phenylacetat und Tokopherylestern andererseits besteht. Ich versuchte weiter, typische Farbreaktionen der Phenole auf die Tokopherole zu übertragen, ohne allerdings durch die mit Cumotokopherol erzielten Farbreaktionen zu sicheren Vergleichen gelangen zu können.

Durch diese Versuche war eine Phenolnatur der Tokolpherole außerordentlich wahrscheinlich gemacht. Dadurch wird gleichzeitig unsere vorher erwähnte Hypothese hinfällig, denn die Tokopherole müssen als Phenole drei Doppelbindungen enthalten und können daher ihrer Formel entsprechend nur zwei Ringe besitzen und nicht vier Ringe wie die Sterine.

In der Formel der Tokopherole ist nunmehr ein Sauerstoffatom als phenolisches Hydroxyl wahrscheinlich gemacht; das zweite Sauerstoffatom, das sich gegen Hydroxyl- und Carbonylagentien indifferent verhält, schien als Äther vorzuliegen. Wir begannen diese Annahme zu prüfen durch Spaltungsversuche mit Jodwasserstoffsäure.

Ehe wir dabei zu kristallisierten Abbauprodukten gelangen konnten, erfuhren wir, daß es FERNHOLZ gelungen war, durch thermische Zersetzung des α-Tokopherols bei 350° Durohydrochinon (I) zu isolieren. FERNHOLZ hat als Schüler von Prof. WINDAUS noch bis vor wenigen Jahren hier im Göttinger Laboratorium gearbeitet. Seine Versuche am α-Tokopherol hat er bei der Firma Merck & Co. in USA. durchgeführt. Es ist zu vermuten, daß FERNHOLZ in derselben Absicht wie wir, Anhaltspunkte für die Sterinnatur der Tokopherole zu gewinnen, eine Selendehydrierung versuchte. Diese Reaktion wird normalerweise bei 320—340° ausgeführt. Bei dieser Temperatur sublimiert das Durohydrochinon bereits aus den Zersetzungsprodukten des α-Tokopherols heraus.

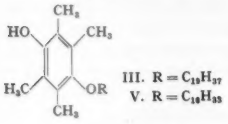
Wir haben die FERNHOLZsche Methode der thermischen Spaltung auf das Cumotokopherol übertragen. Wir erwarteten, dabei auch Durohydrochinon zu erhalten. Statt dessen isolierten wir Pseudocumolhydrochinon (II), das eine Methylgruppe weniger enthält.



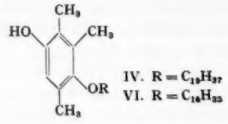
Es liegt nahe, anzunehmen, daß das Fehlen dieser Methylgruppe den einzigen Unterschied zwischen α- und Cumotokopherol darstellt. Diese Annahme ist geeignet, auch den Unterschied der Spektren zwischen α-Tokopherol und Cumotokopherol zu erklären. Diesen charakteristischen Unterschied wollten wir auch in der Namengebung zum Ausdruck bringen.

Die Ergebnisse der thermischen Spaltung sind am einfachsten zu deuten durch die Annahme,

daß α-Tokopherol ein Monoäther des Durohydrochinons und Cumotokopherol ein Monoäther des Pseudocumolhydrochinons mit einem Alkylteil $C_{19}H_{37}$ (III und IV) darstellen; denn es ist bekannt, daß Phenoläther durch thermische Spaltung in Phenole und ungesättigten Alkylteil zu zerlegen sind. Um diese Annahme zu prüfen, haben wir eine Reihe von Monoäthern des Durohydrochinons wie auch des Pseudocumolhydrochinons mit zunächst beliebigen Alkylteilen, z. B. dem Cetylrest $C_{16}H_{33}$ (V und VI) synthetisiert. Die hergestellten Modelle zeigten in manchen Punkten eine gewisse Ähnlichkeit mit den Tokopherolen. Ein genauer Vergleich jedoch zeigt wesentliche Unterschiede im Verhalten der Modelläther gegenüber den Tokopherolen, so daß die erwogene Formulierung der Tokopherole nicht richtig sein kann.



III. $R = C_{19}H_{37}$
V. $R = C_{16}H_{33}$



IV. $R = C_{19}H_{37}$
VI. $R = C_{16}H_{33}$

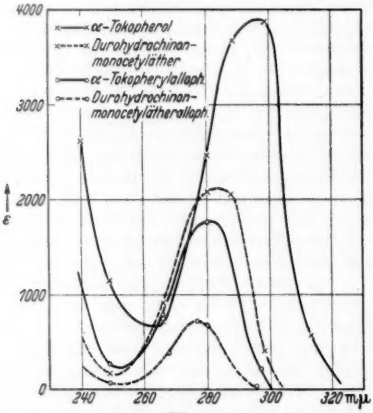
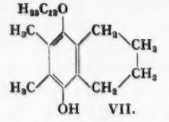


Fig. 3.

Die Absorptionssprektren unserer Modelle sind, wie aus Fig. 3 hervorgeht, kurzwelliger und niedriger als die der Tokopherole. Wir stellten uns zunächst die Frage: wie sind unsere Modelle abzuändern, um ein höheres und langwelligeres Absorptionsmaximum zu erreichen? Die geeignetste Lösung dieser Frage schien uns die zu sein, dem phenolischen Ringsystem des Durohydrochinons das zweite noch in den Tokopherolen vorhandene Ringsystem direkt anzugliedern, im Sinne eines Chroman- oder Cumaranringes oder weniger wahrscheinlich eines Tetralin- oder Hydrindanringsystems.

Von diesen vier theoretisch gegebenen Möglichkeiten schien uns ein geeignetes Tetralinderivat zur Prüfung unserer Ansicht besonders leicht zugänglich zu sein. Wir haben einen Dimethyltetrahydro-naphthohydrochinon-mono-n-dodecyläther (VII) synthetisiert. Obwohl dieser Stoff für die Weiterentwicklung des Strukturproblems der Tokopherole, wie unsere weiteren Versuche gezeigt haben, keinerlei Bedeutung besitzt, möchte ich ihn doch kurz erwähnen, weil er überraschenderweise im Tierversuch in einer Dosis von etwa 60 mg eine deutliche Wirkung als Antisterilitätsfaktor besitzt. Die Monoäther des Durohydrochinons wurden im Laboratorium der Firma Merck in Darmstadt auf ihre Vitamin E-Wirksamkeit geprüft. Dabei ergab sich, daß einige dieser Äther in Dosen von 100 mg eine gewisse Wirksamkeit als Antisterilitätsfaktoren aufweisen. Aus diesen Versuchen geht schon hervor, daß die Spezifität der Vitamin E-Faktoren erstaunlich gering ist.

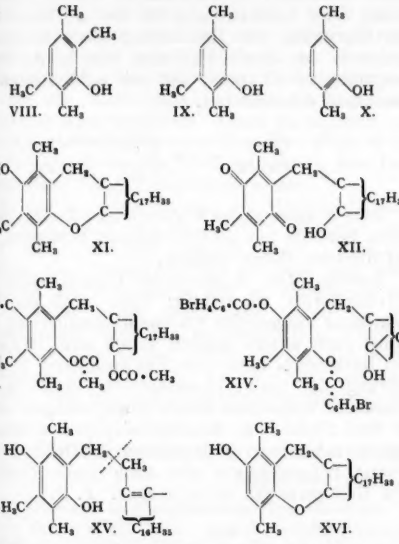


VII.

Weitere Unterschiede zwischen unseren Modelläthern und den Tokopherolen ergeben sich aus ihrem Verhalten gegen Jodwasserstoffsäure sowie gegen verschiedene Oxydationsmittel. Durch energische Behandlung mit konz. Jodwasserstoffsäure entsteht aus Durohydrochinonmono-cetyläther Durenol (VIII.) und Cetyljodid und aus Pseudocumolhydrochinon-mono-cethyläther unter denselben Bedingungen Isopseudocumenol (IX) und Cetyljodid. Aus α-Tokopherol erhielten wir dagegen Isopseudocumenol und aus Cumotokopherol Paraxylenol (X). Diese Ergebnisse stehen in einem gewissen Widerspruch zu den Resultaten der FERNHOLZschen Spaltung. Die Produkte der Jodwasserstoffspaltung der Tokopherole zeigen eine Hydroxylgruppe und eine Methylgruppe weniger als die Produkte der thermischen Spaltung. Die Abspaltung einer Hydroxylgruppe mit Jodwasserstoffsäure ist verständlich, schwer zu verstehen ist aber die Abspaltung einer Methylgruppe. Da unsere Modelläther unter denselben Bedingungen Methylgruppen nicht abspalten, bleibt nur eine Erklärung zur Deutung der Befunde. Im α-Tokopherol muß an das Durohydrochinonsystem eine Seitenkette angegliedert sein, die bei der Behandlung mit Jodwasserstoffsäure vollständig abgespalten wird und bei der thermischen Zersetzung in eine Methylgruppe übergeführt wird. Analogiebeispiele für ein solches Verhalten sind allerdings bisher nicht bekannt geworden.

Weiteren Einblick in die Strukturverhältnisse der Tokopherole gaben uns Oxydationsversuche mit Silbernitrat. Durohydrochinon-mono-äther werden mit Silbernitrat glatt in Durochinon und Alkohol gespalten. Aus α-Tokopherol entsteht mit Silbernitrat ein Produkt, daß alle Eigenschaften eines Chinons besitzt, aber noch alle Kohlenstoffatome des α-Tokopherols enthält. Es besitzt die Formel $C_{29}H_{50}O_3$. Zur Charakterisierung dieses Stoffes haben wir durch reduzierende Acetylierung ein kristallisiertes Triacetat und nach einer modifizierten SCHOTTEN-BAUMANNschen Methode mit

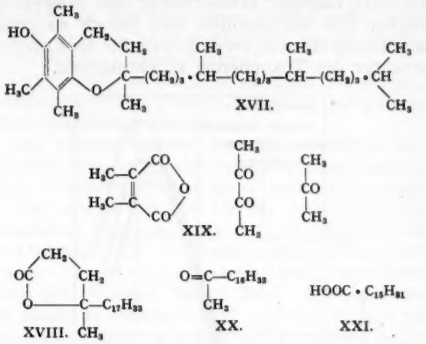
gleichzeitiger Reduktion einen kristallisierten Di-p-Br-benzoesäure-ester hergestellt. Wir formulierten diese Stoffe wie in den Formeln (XI—XIV) angegeben ist, d. h. das α-Tokopherol als Chromanderivat, weil sich nur so die FERNHOLZsche Spaltung leicht verstehen läßt. Wir nehmen in erster Stufe, wie bei einfachen Phenoläther-spaltungen, die Ausbildung einer neuen Doppelbindung (XV) an in einer Lage, die auf Grund der SCHMIDTschen Doppelbindungsregel eine thermische Spaltung an der durch einen Strich angedeuteten Stelle in der Art eines Krackprozesses unterstützt. Eine Auffassung der Tokopherole als Cumaranderivate läßt eine derartige Deutung nicht zu.



Auf eine Formulierung der Seitenkette verzichteten wir, da wir bislang keine sicheren Anhaltspunkte für ihre Struktur hatten gewinnen können. Wir wußten lediglich auf Grund von Essigsäurebestimmungen nach KUHN-L'ORSA, daß sie mehrere C-CH_3-Gruppen besitzen mußte. Dem Cumotokopherol ist eine entsprechende Formulierung (XVI.) zuzuerteilen.

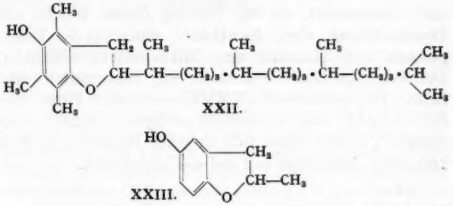
Eine wesentlich weitergehende Strukturaufklärung des α-Tokopherols gaben dann die Oxydationsversuche von FERNHOLZ. Er stellte für das α-Tokopherol die folgende Formel (XVII) auf, die in bezug auf das Ringsystem so gut wie sicher bewiesen werden konnte und bezüglich der Seitenkette sehr wahrscheinlich war. Die Formulierung der Seitenkette in ihrer isoprenartigen Anordnung gründet sich auf eine an vielen Naturstoffen gemachte Erfahrung.

FERNHOLZ erhielt durch Chromsäureoxydation unter milden Bedingungen ein C_{21}-Lacton (XVIII), dessen freie Säure außerordentlich leicht lactonisiert und daher als γ-Oxysäure angesprochen werden muß; die Hydroxylgruppe muß tertiär sein, da sie sich nicht oxydieren und sehr schwer verestern läßt. Bei energischerer Oxydation mit Chromsäure erhielt FERNHOLZ Dimethyl-maleinsäure (XIX), Diacetyl, Aceton, ein C_{18}-Keton (XX) und eine C_{16}-Säure (XXI), die nach den Ergebnissen der Chromsäureoxydation drei C-CH_3-Gruppen enthalten mußte. Die Formulierung des C_{21}-Lactons ist nur in der einen Weise möglich, um daraus das Entstehen eines C_{18}-Ketons und einer C_{16}-Säure zu erklären. Die Deutung aller Abbauprodukte ist nur durch die Formulierung des α-Tokopherols als Chromanderivat möglich.



FERNHOLZ war in der glücklichen Lage, etwa die 100fache Menge an α-Tokopherol bei seinen Versuchen einsetzen zu können, als sie uns zur Verfügung stand.

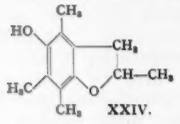
Kurze Zeit nach dem Erscheinen der FERNHOLZschen Arbeit veröffentlichten KARRER und Mitarbeiter eine Formulierung des α-Tokopherols als Cumaranderivat (XXII). Eine Stütze ihrer Formulierung sehen die Schweizer Autoren in einer Ähnlichkeit des spektralen Verhaltens des 2-Methyl-5-oxycumarans (XXIII) mit dem Neo-tokopherol. Es ist bekannt, daß Substituenten am Benzolkern den Charakter des UV.-Spektrums stark beeinflussen. Die aufgefundene Ähnlichkeit scheint uns daher ohne Beweiskraft zu sein.



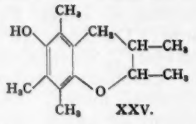
BERGEL und TODD und Mitarbeiter vergleichen die Spektren des Tetra-methyl-cumarans (XXIV) und des β-Tokopherols und geben darauf gründend ihrer Ansicht Ausdruck, daß die Tokopherole Cumaranderivate seien.

Wir suchten unsere Ansicht, daß die Tokopherole Chromane seien, auch durch synthetische

Versuche zu stützen. Wir synthetisierten ein Penta-methyl-oxy-chroman (XXV) und Tetramethyl-oxy-cumaran und verglichen die Spektren



XXIV.



XXV.

beider Ringsysteme mit dem α-Tokopherol. Die auf Fig. 4 eingezeichneten Spektren zeigen uns, daß die Spektren der Chromanderivate dem α-Tokopherol sehr ähnlich sind, die der Cumaranderivate dagegen etwas höher und langwelliger liegen. Die Unterschiede sind jedoch zu gering, um daraus einen sicheren Beweis für die Chromanstruktur der Tokopherole zu entnehmen.

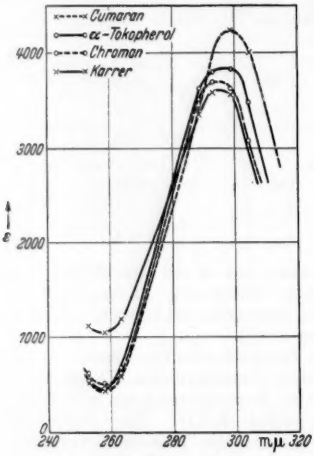
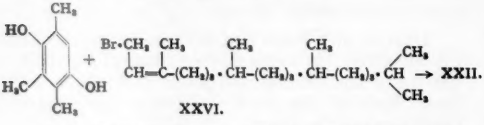


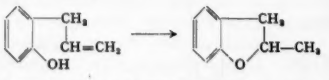
Fig. 4.

Es standen sich demnach zwei Ansichten gegenüber. Die Schweizer und die englischen Forscher hielten eine Cumaranstruktur der Tokopherole für wahrscheinlich, während FERNHOLZ und wir eine Chromanstruktur bevorzugten. Wir waren daher sehr überrascht, als wir Anfang dieser Woche die Beschreibung der Synthese eines d-l-α-Tokopherols von KARRER und Mitarbeitern erfuhren. Die durchgeführte Synthese ist erstaunlich einfach. Phytylbromid (XXVI) wird mit Hilfe von Zinkchlorid mit Pseudocumolhydrochinon kondensiert, dabei bildet sich in einer Reaktion in fast 100proz. Ausbeute ein d-l-α-Tokopherol.



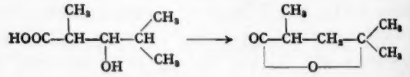
XXVI. → XXII.

Die Kondensation wird in Petroläther bei 60—70° durchgeführt und ist in einer halben Stunde beendet. Das Reaktionsprodukt ist durch 2maliges Chromatographieren sofort leicht rein zu erhalten. Das so synthetisierte d-l-α-Tokopherol ist in allen seinen Eigenschaften dem natürlichen α-Tokopherol sehr ähnlich. Die Schmelzpunkte beider Nitrophenylurethane sind identisch, der Schmelzpunkt des synthetischen Allophanates liegt 14° höher als der des α-Tokopheryl-allophanates. Die Spektren des synthetischen Materials stimmen mit dem α-Tokopherol gut überein. Es scheint also außerordentlich wahrscheinlich, daß das von KARRER synthetisierte Produkt ein Diastereomeres des α-Tokopherols darstellt. KARRER und Mitarbeiter nehmen an, daß das von ihnen synthetisierte Produkt Cumaranstruktur besitzt entsprechend ihrer Formulierung für das α-Tokopherol. Sie begründen die Entstehung eines Cumaranderivates bei ihrer Reaktion durch Analogiebeispiele von CLAISEN, der aus o-Allyl-phenolen Cumarane erhalten hat.



Eine Erklärung der Widersprüche der KARRERschen Befunde mit unseren eigenen Befunden war auf dreierlei Weise möglich.

Erstens: Die KARRERsche Formulierung des α-Tokopherols ist richtig; dann muß die von FERNHOLZ aufgestellte Chromanformulierung und damit auch unsere Ansicht falsch sein. KARRER und Mitarbeiter halten die FERNHOLZsche Beweisführung für nicht beweiskräftig und deuten FERNHOLZ Ergebnisse durch Umlagerungen, wozu sie eine Reihe von Analogiebeispielen anführen. Aus verschiedenen β-Oxysäuren erhält man mit 20proz. Schwefelsäure oder auch durch Destillation Umlagerungen in γ-Lactone. Z. B.:



Auf ähnliche Weise soll bei den von FERNHOLZ durchgeführten Oxydationen die Umlagerung einer β-Oxysäure in ein γ-Lacton stattfinden. Wir halten diese Ansicht für unmöglich. Bei den FERNHOLZschen Versuchsbedingungen würde eine intermediär entstehende β-Oxysäure mit sekundärem Hydroxyl oxydiert werden. Die Entstehung des C_{21}-Lactons ist nur dem tertiären Charakter der Hydroxylgruppe, wie sie von FERNHOLZ formuliert wird, zu verdanken. Auch an eine Umlagerung bei der Aufarbeitung ist nicht zu denken, da sich dann die Entstehung eines C_{18}-Lactons und einer C_{16}-Säure bei der Oxydation nicht deuten läßt.

Die zweite Möglichkeit wäre die, daß die KARRERsche Formulierung des α-Tokopherols unrichtig und daß das α-Tokopherol tatsächlich ein Chromanderivat ist; dann steht zu erwarten, daß das von KARRER synthetisierte Produkt zwar dem α-Tokopherol sehr ähnlich ist, aber ein anderes

Ringsystem als dieses, nämlich ein Cumaransystem, besitzt. Einen entscheidenden Beweis gegen die von KARRER für wahrscheinlich gehaltene Formulierung des α-Tokopherols zugunsten der FERNHOLZschen Formulierung konnten wir durch die Eigenschaften des schon früher besprochenen Di-p-Brom-benzoesäure-esters (XIV) aus α-Tokopherol erbringen. Bei der Veresterung mit überschüssigem p-Brombenzoylchlorid ist die Hydroxylgruppe in der Seitenkette nicht verestert worden. Dies spricht für ihren tertiären Charakter. Sollte jedoch wider Erwarten bei den angewandten Bedingungen eine sekundäre Hydroxylgruppe nicht verestert worden sein, so hätte sich ihr sekundärer Charakter durch die Oxydierbarkeit mittels Chromsäure nachweisen lassen müssen. Unser Di-p-Brom-benzoesäure-ester ist aber gegen Chromsäure weitgehend stabil. Dadurch ist eine Formulierung mit einer sekundären Hydroxylgruppe, wie sie die KARRERsche Formel verlangt, mit Sicherheit ausgeschlossen. Dann kann auch das von KARRER synthetisierte Produkt, wenn es die von ihm angenommene Struktur besitzt, kein Diastereomeres des α-Tokopherols sein.

Es besteht dann drittens die Möglichkeit, daß das von KARRER und Mitarbeitern erhaltene Produkt entgegen ihrer Absicht kein Cumaran-, sondern ein Chromanderivat darstellt und dann doch ein Diastereomeres des α-Tokopherols ist. Zür Prüfung dieser Möglichkeit haben wir die KARRERschen Versuche nachgearbeitet. Das erhaltene Produkt besitzt ein Spektrum, das einem Chromanderivat ähnlicher ist als einem Cumaranderivat. Wir haben das synthetische Material mit Silbernitrat oxydiert und mit p-Brom-benzoylchlorid unter gleichzeitiger Reduktion verestert. Das synthetische Produkt verhält sich dabei vollständig gleichartig wie das α-Tokopherol. Wir erhielten auch einen Di-p-Brom-benzoesäure-ester, der gegen Chromsäure weitgehend beständig ist. Sein Schmelzpunkt liegt um 2° höher als der des Di-p-Brom-benzoesäure-esters aus α-Tokopherol und gibt mit diesem keine Depression. Damit ist gezeigt, daß auf dem Wege der KARRERschen Synthese ein Chroman-derivat entstanden ist, wie es nach späteren Versuchen von CLAISEN und TIETZE auch zu erwarten war. Demnach ist aller Wahrscheinlichkeit nach von KARRER und Mitarbeitern die Synthese eines Tokopherols durchgeführt worden, wenn auch unter unzutreffenden theoretischen Voraussetzungen.

Damit darf die von FERNHOLZ für das α-Tokopherol aufgestellte Formel endgültig als gut gesichert angesehen werden.

Ich möchte meine Ausführungen nicht abschließen, ohne meinen Mitarbeitern Herrn DIETZEL, Herrn GÜNTHER, Herrn EMTE und Frl. SCHMEIL für ihre eifrige Beihilfe bei der Ausführung der chemischen Versuche und Frl. v. GUENTHER für die Durchführung der Tierversuche meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Mein besonderer Dank gilt indessen Herrn Prof. WINDAUS, der mir dieses interessante und wichtige Gebiet zur Bearbeitung überlassen hat, und der unsere Arbeit immer durch sein stetes Interesse und wertvolle Ratschläge gefördert hat. Der Firma Merck, Darmstadt, habe ich für wertvolle Unterstützungen zu danken.

Die Anwendung von Linienintegraltheoremen auf die Hydrodynamik irdischer und kosmischer Wirbel[1].

I. Klassische und physikalische Hydrodynamik.

Das Studium der Wellen- und Wirbelbewegungen in einer Flüssigkeit oder in einem Gase ist wegen der großen Zahl sich bietender Anwendungsmöglichkeiten auf kosmische und irdische Probleme von besonderer Bedeutung. In Erkenntnis der Wichtigkeit dieser Fragen hat sich bereits die klassische Hydrodynamik mit den Problemen der Wirbelbildung und der Wirbelerhaltung befaßt, ohne allerdings den einmal abgesteckten Bereich der inkompressiblen Flüssigkeiten zu verlassen. Die Untersuchung der irdischen und kosmischen Wirbel, also z. B. der Rotationsbewegungen in der Erdatmosphäre und in der Sonnenmasse, erfordert aber, daß die thermischen Einflüsse, welche ihre Struktur bestimmen und verändern, Berücksichtigung finden, d. h. man muß den Übergang von den unzusammendrückbaren (inkompressiblen) und homogenen Flüssigkeiten zu den viel allgemeineren kompressiblen, thermisch reagierenden vollziehen. Das bedeutet aber, daß in das System der Differentialgleichungen der reinen Hydrodynamik noch das der Thermodynamik eingefügt wird. Der Hydrodynamiker kennt die Schwierigkeiten, die sich ihm bei der Lösung der Probleme inkompressibler Flüssigkeiten bereits entgegenstellen; die der erweiterten „physikalischen Hydrodynamik" angehörenden Probleme bieten der Lösung noch ungleich größere Schwierigkeiten. Um zu beschreibenden Aussagen über die Bewegungen in solchen allgemeineren (heterotropen) Flüssigkeiten und Gasen zu gelangen, hat V. BJERKNES einen auch von der klassischen Hydrodynamik als gangbar erkannten Weg beschritten, die Anwendung von Integralsätzen.

II. Die Linienintegraltheoreme.

In jedem Gas und in jeder Flüssigkeit bilden zu jedem Zeitpunkt die Massenteilchen mit gleichem Druck p und die mit gleichem spezifischem Volumen s bzw. gleicher Dichte q irgendwie geformte, im Raume liegende Flächen. Die isosteren Flächen (Flächen gleichen spezifischen Volumens) und die äquidensen Flächen (Flächen gleicher Dichte) fallen dabei stets zusammen, weil gemäß der Definitionsbeziehung $s = 1/q$ eine Fläche $s = \text{const}$ auch eine Fläche $q = \text{const}$ ist. Dagegen schneiden im allgemeinen Falle die Flächen gleichen Druckes (isobare Flächen) die isostere oder äquidense Flächenschar unter beliebigen Winkeln. Durch den Schnitt dieser äquiskalaren Einheitsflächen entstehen röhrenförmige Gebilde mit rhomboidem Querschnitt, sog. *Solenoide*. Legt man eine beliebige, aus materiellen Teilchen bestehende, zeitlich veränderliche, *geschlossene*

[1] Bericht über V. BJERKNES: Application of line integral theorems to the hydrodynamics of terrestrial and cosmic vortices. Astrophys. Norv. **2**, 6 (1937).

Kurve in ein solches Feld, so kann man das längs dieser Kurve genommene Integral aus dem skalaren Produkt des Geschwindigkeitsvektors in das vektorielle Linienelement, d. h. der mit dem Linienelement multiplizierten Tangentialgeschwindigkeit, als die *kinematische Zirkulation* C ($C = \oint \mathfrak{v} \cdot \delta\mathfrak{r}$) dieser *geschlossenen* Kurve definieren. Das erste von V. Bjerknes abgeleitete Linienintegraltheorem sagt dann aus, daß die zeitliche Änderung der Zirkulation dieser Kurve gegeben ist durch die Anzahl N der von den isosteren und isobaren Flächen gebildeten Solenoide, welche die Kurve umschließt; es ist also $\frac{dC}{dt} = N$. Wenn man bei der Bildung des Integrals nicht von der Geschwindigkeit, sondern von dem Impuls $q\mathfrak{v}$ ausgeht, erhält man den zweiten von V. Bjerknes aufgestellten Zirkulationssatz, wonach die zeitliche Änderung der *dynamischen Zirkulation* $\overline{C} = \oint q\mathfrak{v} \cdot \delta\mathfrak{r}$ — von einigen Zusatzgliedern abgesehen — gleich der Anzahl $\overline{N}$ der von der Kurve umfaßten, durch die äquidensen Flächen und die Niveauflächen gebildeten Solenoide ist. Da die Zusatzglieder für die hier behandelten Probleme als unbedeutend zu vernachlässigen sind, ist also in Annäherung: $\frac{d\overline{C}}{dt} = \overline{N}$.

Die beiden Zirkulationssätze haben sehr allgemeine Bedeutung, sie gelten — von der Reibung abgesehen — ohne Rücksicht auf die physikalischen Eigenschaften des betreffenden Gases oder der betreffenden Flüssigkeit. Wenn insbesondere der Spezialfall eintritt, daß die Dichte eines Massenteilchens von seiner Temperatur nicht mehr, sondern nur noch von seinem Druck abhängt ($q = q(p)$), so fallen auch die Druckflächen mit den beiden anderen Flächenscharen zusammen, es werden also keine isobar-isosteren Solenoide gebildet. Die allgemeinen Flüssigkeiten heißen, weil die Druckflächen gegen die Dichteflächen geneigt sind, *baroklin*, die spezielleren Flüssigkeiten, mit zusammenfallenden Flächenscharen dagegen *barotrop*. Ein Spezialfall der barotropen Flüssigkeiten ist die homogene inkompressible Flüssigkeit ($q = \text{const}$). Für eine solche wird also $N = O$ und daher gemäß des ersten Integraltheorems $C = \text{const}$. Dies ist der bekannte Helmholtzsche Wirbelerhaltungssatz, der als Spezialfall im Bjerknesschen Integraltheorem enthalten ist. Eine barokline Flüssigkeit kann gelegentlich einmal barotrop sein, ohne daß es ihren physikalischen Eigenarten entspräche; eine Flüssigkeit dagegen, welche diese Barotropie gemäß ihrer physikalischen Eigenschaften immer aufweist, nennen wir aus diesem Grunde *autobarotrop*. Wir können dann den Erhaltungssatz so formulieren: In einer autobarotropen Flüssigkeit bewegt sich jede geschlossene materielle Kurve mit zeitlich konstanter Zirkulation.

Der allgemeine Zirkulationssatz gilt für eine thermodynamisch beeinflußbare Flüssigkeit (Gas), die Verbindung zwischen Dynamik und Thermodynamik wird durch ein ergänzendes thermodynamisches Zirkulationstheorem hergestellt, wonach unter der Voraussetzung eines zeitlich unveränderlichen Solenoidfeldes bei jedem vollen Umlauf der Masseneinheit in positiver Richtung um N isoster-isobare Solenoide ebensoviel kalorische Einheiten in mechanische Arbeit umgesetzt werden.

III. Anwendungen.

1. Schwingungen und Umläufe im Schwerefeld. Wenn ein Massenteilchen eines gasförmigen Mediums sich in einem konstanten Schwerefeld in vertikaler Richtung bewegt, so hängt die Art seiner Bewegung einmal von der durch die physikalischen Eigenschaften des Gases aufgeprägten, mit der Druckänderung verknüpften Volumenänderung oder Dichteänderung, zum anderen von der jeweiligen Schichtung des Gases ab. Die erste wird durch einen Koeffizienten γ (Piezotropiekoeffizient), die zweite durch einen Koeffizienten Γ (Barotropiekoeffizient) festgelegt. Das Teilchen führt dann vertikale Schwingungen aus, deren Periode $T = 2\pi/g\sqrt{\Gamma - \gamma}$ ist. Wenn $\Gamma > \gamma$ ist, d. h. wenn die Dichte des Teilchens bei Bewegung in ein höheres Niveau langsamer abnimmt als die Dichte der ruhenden Umgebung, ist die Periode reell, das Teilchen führt Pendelschwingungen um eine stabile Gleichgewichtslage aus. Ist $\Gamma = \gamma$, so herrscht indifferentes Gleichgewicht, und ist $\Gamma < \gamma$, so wird die Periode imaginär, es gibt bei instabilem Gleichgewicht eine aperiodische Bewegung. Wenn jetzt in einem rechteckigen Gefäß die ganze Flüssigkeitsmasse Schwingungen ausführt, so läßt sich an Hand des dynamischen Zirkulationssatzes zeigen, daß die Periode der Schwingung mit dem Proportionalitätsfaktor D/H (D = Diagonale, H = Höhe des Gefäßes) zu T proportional ist. Das gilt aber nur für sehr kleine Amplituden der Schwingung. Durch stärkere Impulse kann man es dann erreichen, daß die anfangs stabil geschichtete Flüssigkeit über ihre zweite Gleichgewichtslage hinausschießt und rhythmische Umläufe ausführt. Die Zeit dieser Umläufe wird aber nach innen zu von Stromlinie zu Stromlinie kleiner. Der Effekt ist in Fig. 1a in einem der Einfachheit halber quadratischen Gefäß dargestellt. Zu einer Zeit, wo die äußeren Stromlinien die schweren Massen (enge Schraffur) oben enthalten, befindet sich in einer weiter nach innen gelegenen Stromlinie wegen der geänderten Umlaufszeit die leichtere Masse oben usw., es stellt sich also ein für Turbulenz günstiger Zustand ein, der jede Zirkulation zerstört. Das gilt allerdings nur für mechanische Störungsimpulse, welche ja die Gleichgewichtslage unverändert lassen. Eine durch thermischen Impuls erzeugte Oszillation ist von wesentlich anderer Natur, denn er verändert gleichzeitig die Gleichgewichtslagen. Wenn diese thermischen Impulse den einzelnen Massenteilchen kontinuierlich nachlaufen, gewissermaßen „wie ein Pferd hinter einem an der Deichselstange vor ihm angebrachten Heubündel" (V. Bjerknes), so entsteht ein thermisch gebundener Umlauf, der aber nun stabil ist und keinen Anlaß zur Turbulenz gibt. Die nachlaufenden thermischen Impulse kann man sich dann durch ein unveränderliches, durch entsprechende Wärmeabgabe und -aufnahme aufrechterhaltenes Temperaturfeld ersetzt denken, welches die Teilchen durchlaufen. Ein Beispiel für eine solche thermisch gebundene Zirkulation ist das Problem des Land- und Seewindes.

2. Der zirkulare Wirbel. Unter einem zirkularen Wirbel verstehen wir eine um eine gemeinsame Achse rotierende Flüssigkeitsmasse, bei welcher die Winkelgeschwindigkeit in jedem Punkte lediglich von der Achsenentfernung und der Höhe über einem gegebenen Niveau (meistens Äquatorebene) oder, was dasselbe ist, von der Nullpunktsentfernung und vom Breitenwinkel abhängt. In einem solchen Wirbel sind infolge der Kreissymmetrie die isobaren Flächen, isosteren Flächen usw. Rotationsflächen, die durch den Schnitt der Flächen erzeugten Solenoide verlaufen parallel zu den Breitenkreisen. Auch hier unterscheiden wir die Fälle des baroklinen und des barotropen Wirbels. Der letzte ist wieder gekennzeichnet durch das Zusammenfallen der isobaren und isosteren Flächen, d. h. durch die verschwindende Solenoidzahl; er ist verwirklicht in

einem Wirbel, bei dem die Winkelgeschwindigkeit der einzelnen Teilchen nur vom Achsenabstand abhängt. Jede geschlossene materielle Kurve hat konstante Zirkulation im barotropen, zeitlich linear veränderliche im stationären baroklinen zirkularen Wirbel. Je nach der Verteilung der Zirkulation ist ein barotroper zirkularer Wirbel gegenüber Trägheitsstörungen stabil, indifferent oder instabil; das erste tritt ein bei auswärts zunehmender Zirkulation, das letzte bei auswärts abnehmender. Denkt man sich also einen Wirbelring parallel zu einem Breitenkreis aus seiner Ruhelage gebracht, so wird er im stabilen Fall Schwingungen um seine Gleichgewichtslage ausführen derart, daß jedes einzelne seiner Teilchen in der Meridianebene Schwingungen ausführt. Wenn aber die Störung eine gewisse Grenze überschreitet, werden die einzelnen Teilchen wieder Umläufe in der Meridianebene der schon beschriebenen Art ausführen mit dem in Fig. 1 b gezeigten Unterschied.

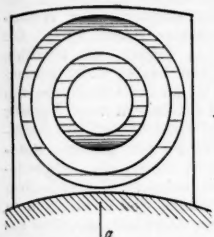


Fig. 1 a.

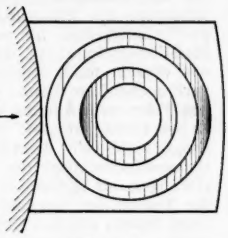


Fig. 1 b.

Die stark schraffierten Stromlinien enthalten jetzt *außen* Massen mit großer Zirkulation, daneben liegen nach innen zu solche mit schwacher Zirkulation, dann wieder mit stärkerer usf., ein Zustand, der bald zu turbulenter Auflösung führt. Wenn man auf den allgemeinen und für meteorologische Fragestellungen wichtigen Fall des baroklinen Wirbels übergeht, lassen sich eine Reihe von Beziehungen zwischen dem Druck-, Temperatur- und Geschwindigkeitsfeld ableiten, die u. a. auch das Gradientwindgesetz als Spezialfall enthalten. Mit ihrer Hilfe ergeben sich plausible zahlenmäßige Zusammenhänge zwischen dem horizontalen Temperaturgefälle und dem vertikalen Geschwindigkeitsgradienten in lokalen Wirbeln (Tromben und Sonnenflecken).

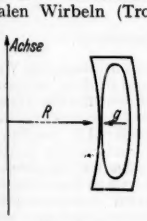


Fig. 2 a.

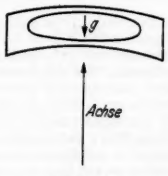


Fig. 2 b.

Die irdische Atmosphäre stellt einen baroklinen Wirbel dar, in welchem die Schwerkraft die Trägheitskräfte überwiegt. Der Umlauf eines Wirbelringes im Schwere- und Trägheitsfeld nimmt dann die in Fig. 2 a und 2 b dargestellte Form an, wenn er am Äquator oder am Pol erfolgt. Aus der Darstellung geht hervor, daß in südlichen Breiten die Schwerkraft praktisch allein die Frage der Stabilität und Instabilität entscheidet, da die nur sehr kleinen möglichen Verschiebungen in der R-Richtung nur ebenso geringe Abweichungen der Zentrifugalkraft ergeben. Dagegen sind in Polnähe sowohl die Schwere als auch die Trägheitskräfte für den Endzustand bestimmend. Solange rhythmische Umläufe der Teilchen des Wirbelringes nur auf mechanischem Wege erzwungen würden, wäre der sich einstellende Zustand in der ganzen Atmosphäre turbulent, in höheren Breiten allerdings in noch stärkerem Maße als in niederen. Da diese Umläufe aber durch thermische Prozesse, nämlich durch das stationäre Temperaturfeld der Erde, erzwungen werden, welches ja bei hinreichend starken Gradienten stabile Umläufe im Schwerefeld erzeugt, gelangt man zu dem Schluß, daß ein Temperaturfeld mit genügend großen meridionalen Temperaturgegensätzen stabile Zirkulationen in der Atmosphäre niederer Breiten in Gang setzen kann, daß diese Stabilität aber mit wachsender Breite infolge der auf Turbulenz hinzielenden, nach den Polen zu größer werdenden Trägheitsstörungen beim Umlauf in eine mehr und mehr instabile turbulente Bewegung übergeht, so wie es die allgemeine Zirkulation der Lufthülle tatsächlich erkennen läßt.

3. Die allgemeine Zirkulation der Atmosphäre. Unter der Anwendung der bisherigen Ergebnisse läßt sich in aufbauender Weise qualitativ das folgende Bild der allgemeinen Zirkulation entwerfen. Zunächst rotiere die Erde mitsamt der Atmosphäre ohne jeden Temperatureffekt wie ein starrer Körper. Denkt man sich langsam das Temperaturfeld eingeschaltet, so verschieben sich die zonalen Wirbelringe äquatorwärts. Zufolge der Erhaltung der Zirkulation und des zunehmenden Ringumfanges verkleinern sie ihre Umlaufgeschwindigkeiten. Die Reibungskräfte am Boden, welche die verzögerte Luft mitzunehmen bestrebt sind, erteilen ihnen Beschleunigungen und treiben sie weiter gegen den Äquator (Primärer Reibungseffekt). Aus Gründen der Kontinuität bewegen sich die Wirbelringe der hohen atmosphärischen Schichten dann polwärts; aus denselben obenerwähnten Gründen werden sie, wenn sie in hohen Breiten zu Boden kommen, durch die Reibung gebremst. Der stationäre Zustand ist mit dem Ausgleich der Beschleunigungen und der Verzögerungen erreicht, d. h. es muß unter der Berücksichtigung der Flächengleichheit der Beschleunigungs- und Verzögerungszone etwa bei 30° Breite die trennende Grenze liegen. Tatsächlich liegt das Gebiet der gegenüber der Erde zu „schnellen" zonalen Winde (Westwinde), welche der Verzögerung bedürfen, nördlich 30° Breite, das Gebiet der zu „langsamen" Ostwinde südlich 30° Breite. Aus dieser Windverteilung folgt sofort mit Hilfe des barischen Windgesetzes die bekannte meridionale Druckverteilung mit den Roßbreitenmaxima, dem relativen Tief am Äquator und den Minima an den Polen. Die Beschleunigungen und Verzögerungen, welche die Reibung hervorruft, veranlassen Überschuß bzw. Defizit an Zentrifugalkraft (sekundärer Reibungseffekt), die Wirbelringe südlich von 30° Breite tendieren also gegen den Äquator, die nördlich 30° Breite gegen den Pol. Die resultierenden Stromlinien der Teilchen sind nicht mehr Kreise, sondern Schraubenlinien.

Das bisher entwickelte Zirkulationsschema trägt zwei Widersprüche in sich. Erstens verlangt das dynamische Gleichgewicht, daß das Gradientwindgesetz erfüllt ist. Es läßt sich aber keine in jedem Meridianschnitt gleiche Druckverteilung konstruieren, die jene Schraubenlinien als Gradientwindbahnen besitzt. Zweitens erfolgt die Zirkulation in den Breiten nördlich 30° so, daß Arbeit in Wärme umgesetzt wird, statt umgekehrt Wärme in Arbeit. Der einzig mögliche Ausweg

ist die Aufgabe einer in allen Meridianen gleichen Zirkulation, selbst auf einer homogenen Erde, und ihr Ersatz durch eine zellulare Zirkulation, deren Einführung in die Meteorologie auf J. BJERKNES zurückgeht. Durch in den Hochdruckrücken eingelagerte Tiefdruckrinnen, welche als notwendige Umbildungen der geschilderten, in der ursprünglichen Form unmöglichen Druckverteilung aufzufassen sind, entstehen geschlossene Antizyklonen, in deren Stromsystem die beiden schraubenförmigen Ströme sich unter Erfüllung des barischen Windgesetzes vereinen. Der aktive Strom bleibt der äquatoriale, Wärme in Arbeit umsetzende. Die Teilchen steigen auf der Äquatorseite des Hochdruckrückens auf und steigen auf der Polseite ab; die Bahnebene liegt im Westen der Antizyklone hoch, im Osten tief. Dadurch umkreisen die Teilchen die Solenoide stets so, daß Wärme in Arbeit verwandelt wird. Zwischen je zwei sich räumlich überlagernden Hochdruckzellen bildet sich eine MARGULESSche Grenzfläche. Betrachtungen über die Konvergenz und die Divergenz der Bewegung führen dazu, die Asymmetrie des antizyklonalen Kerns zu erklären. Fig. 3 gibt ein anschauliches

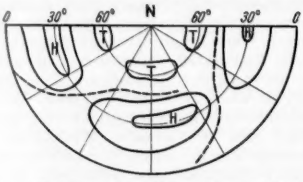


Fig. 3. Schema der allgemeinen Zirkulation (nach J. BJERKNES).

Bild der modifizierten Zirkulation in niederen und mittleren Breiten. In höheren Breiten kann eine stationäre Zirkulation nicht mehr existieren. Der hier unregelmäßig, quantenhaft, vor sich gehende Luftmassenaustausch wird durch die Zyklonen bewirkt. Es ist aber falsch, die Zyklonen deswegen als Störungen der allgemeinen Zirkulation zu bezeichnen. Sie sind ein integrierender Bestandteil des Luftkreislaufs, sie bilden den nicht stationären Anteil an der gesamten allgemeinen Zirkulation.

4. Solare Probleme. Das Hauptproblem der solaren Hydrodynamik ist die *äquatoriale Beschleunigung*, d. h. die Zunahme der Rotationsgeschwindigkeiten an der Sonnenoberfläche äquatorwärts. Faßt man die Sonne als barotropen zirkularen Wirbel auf, dann wäre diese eigentümliche Rotation nur als atavistischer Rest der Urbewegung zu betrachten, den die Reibung bisher nicht auszugleichen imstande war. Schätzungen der Zähigkeit der Sonnenmasse und des Sonnenalters beweisen aber die Haltlosigkeit dieser Hypothese. Also muß die Sonne ein barokliner Wirbel sein, und zwar, wie sich aus den Folgerungen des Zirkulationssatzes nachweisen läßt, ein solcher, bei welchem die Oberflächentemperatur *polwärts* zunimmt. Unter der Annahme, daß die Reibung von einem inneren Kern her, der wie ein fester Körper rotiert, überall an der Sonnenoberfläche die gleiche Rotationsgeschwindigkeit, und zwar die des Äquators, erzeugen will, ist nur mehr die Einführung einer meridionalen Zirkulation zur Erklärung der Erhaltung der Abnahme der Winkelgeschwindigkeiten mit wachsender Breite nötig. Die Meridionalzirkulation, die das leistet, ist überdies, wie es sein muß, im richtigen Sinne, d. h. wärmeverbrauchend, wirksam. Sie ist an der Oberfläche von den Polen zum Äquator und im Innern vom Äquator zu den Polen gerichtet. Diese Zirkulation kann durchgängig stabil sein; denn infolge der sehr geringen Rotationsgeschwindigkeit der Sonne treten die Trägheitsstörungen nur schwach in Erscheinung. Da außerdem die Anzahl der Solenoide, welche die Zirkulation in Gang halten, mit der Tiefe der Zirkulationsschicht zunimmt, kann die Temperaturdifferenz Pol-Äquator klein bleiben und sogar noch innerhalb der Beobachtungsgrenzen gelegen sein.

Innerhalb der Sonne selbst bilden auf ihrer Oberfläche die Sonnenflecken geeignete Objekte für das Wirbelstudium. Stellt man sich die Sonnenflecken als Wirbel vor, so läßt sich ihre thermische Struktur mit den aus dem Integralsatz abgeleiteten Folgerungen erklären. Sogar für die schwierigen Fragen der allen Sonnenflecken gemeinsamen Eigenschaften, des Auftretens in Paaren und der Verlagerung gegen den Äquator innerhalb der Sonnenfleckenperiode liefert die Theorie des konvektiven Wirbelringes einleuchtende Erklärungen. HORST PHILIPPS.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Reibungsdispersion der Dielektrizitätskonstanten organischer Flüssigkeiten.

Gemeinsam mit A. RIEDINGER, R. ODENWALD und P. MEHLER ist die Reibungsdispersion der Dielektrizitätskonstanten verschiedener organischer Flüssigkeiten gemessen worden. An Stelle der zur Zeit am häufigsten verwendeten Meßmethoden — der quantitativen Bestimmung der in einem Flüssigkeitskondensator bei anliegender Hochfrequenz auftretenden Erwärmung, vgl. J. MALSCH[1] und W. HOLZMÜLLER[2], oder einer optischen Methode, wie sie neuerdings A. ESAU und G. BÄZ[3] ausgebildet haben — ist eine modernisierte „zweite DRUDEsche Methode" angewandt worden. Sie erlaubt ohne Korrektionen, ohne Extrapolationen von niederer auf höhere Frequenz und mit weit ausreichender Genauigkeit selbst bei verdünnten Lösungen die Dielektrizitätskonstante in Abhängigkeit von der Frequenz und der Temperatur experimentell zu ermitteln.

Der Verlauf der Reibungsdispersion wurde in dem Wellenlängenbereich 350 m bis zu 14 cm und in dem Temperaturintervall 10—40°, und zwar nur an verdünnten Lösungen bestimmt. Als polare Substanzen sind einerseits solche mit „VAN ARKELscher Assoziation" ausgewählt worden, wie Nitrobenzol, Nitronaphthalin, und andererseits Alkohole. Um den Abfall der Dielektrizitätskonstanten von ihrem statischen Wert auf das Quadrat des optischen Brechungsexponenten — infolge der endlichen Relaxationszeit der polaren Molekel — bei diesen geringen Konzentrationen und in dem angeführten Frequenzbereich noch beobachten zu können, ist es notwendig, außerordentlich hochviskose Lösungsmittel (Kohlenwasserstoffe mit etwa 10—50 Poisen) zu verwenden.

Die Meßergebnisse lassen sich folgendermaßen darstellen: Fig. 1 zeigt die Abhängigkeit der DK. einer verdünnten polaren Lösung von der Temperatur. Danach setzt der Abfall der DK. bis zu Lösungen von etwa 11 Gew.-% bei den gleichen Frequenzen ein, um sich dann bei größeren Konzentrationen und schließlich bei rein polarer Flüssigkeit zu höheren Frequenzen zu verschieben. Die bisherigen Unterschiede in den Angaben der Autoren über Relaxationszeiten polarer Molekel dürften damit teilweise eine Erklärung finden. Die Deutung der Konzentrationsabhängigkeit ist

[1] J. MALSCH, Physik. Z. 33, 19 (1932) — Ann. d. Phys. (5) 12, 865 (1932).
[2] W. HOLZMÜLLER, Physik. Z. 38, 574 (1937).
[3] A. ESAU u. G. BÄZ, Physik. Z. 38, 774 (1937).

durch die Annahme P. DEBYES[1] über die Rotationsbehinderung polarer Molekel gegeben. Es liegt ein analoges Verhalten vor wie bei der Molekularpolarisation in Abhängigkeit von der Konzentration, das ausführlich von F. H. MÜLLER[2] dargestellt worden ist. Da die Variation der Konzentration eine Veränderung des Reibungskoeffizienten bedingt, so kommt die Verschiebung der Dispersionskurve im wesentlichen durch die Summation der beiden gegenläufigen Effekte: Änderung der Rotationsbehinderung und des Reibungskoeffizienten mit der Konzentration zustande, wie es schematisch in der Fig. 2 dargestellt ist. — Schließlich teilen wir in Fig. 3 noch

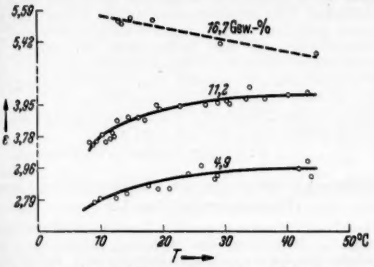


Fig. 1. Dispersion der DK. einer polaren Lösung von Nitrobenzol in Mineralöl bei verschiedenen Konzentrationen. (Meßfrequenz: 0,5 · 10⁹ Hz.)

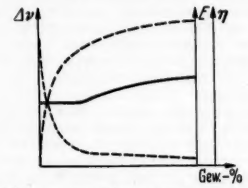


Fig. 2. Verschiebung der Dispersionskurve in Abhängigkeit von der Konzentration (schematisch).

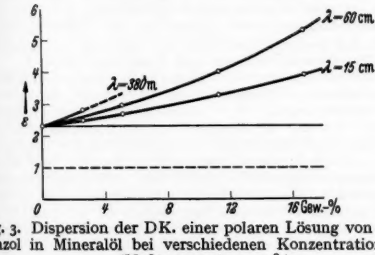


Fig. 3. Dispersion der DK. einer polaren Lösung von Nitrobenzol in Mineralöl bei verschiedenen Konzentrationen. (Meßtemperatur: 40°.)

ein Meßergebnis mit, das frühere Untersuchungen von R. LUTHI[3] bestätigt. Bei den untersuchten Flüssigkeitssystemen findet nicht nur ein einziger Abfall der DK. statt, sondern mehrere, ein Zeichen für die komplizierte Dipolstruktur der Flüssigkeit. Weitere Messungen über diesen Effekt sind im Gange, die Tatsache verdient jedoch Erwähnung, da eine Extrapolation der Meßwerte von verhältnismäßig langen Wellen zu kurzen dadurch immerhin problematisch erscheint.

Um den Effekt der Reibungsdispersion quantitativ auszuwerten, d. h. also Berechnungen über die Relaxationszeiten und Molekeldurchmesser nach der DEBYEschen Darstellung anstellen zu können, ist es zunächst erforderlich, diesen Konzentrationseffekt der Dispersionskurve experimentell zu ermitteln. Die Messungen an verdünnten Lösungen bedingen noch hochviskose Lösungsmittel, die undefiniert sind. Es ist deshalb eine quantitative Abschätzung der Kopplungsenergien aus Meßwerten, wie sie Fig. 2 darstellt, schwierig, da über den Reibungskoeffizienten nur der qualitative Verlauf mit der Konzentration, aber sicher nicht quantitativ der „wirksame molekulare Reibungskoeffizient" anzugeben ist. Ohne Angabe entweder der Kopplungsenergie oder des wirksamen Reibungskoeffizienten kann der Effekt der Reibungsdispersion aber nicht ausgewertet werden. Ein Aufschluß über zumindest eine der notwendigen Größen wird zu erwarten sein, wenn die Meßfrequenzen noch wesentlich höher gewählt werden können und in diesem Wellenlängenbereich genügend empfindliche Methoden ausgebildet sein werden. — Eine ausführliche Wiedergabe unserer Messungen, eine Diskussion der Resultate und ein Vergleich mit Messungen anderer Autoren erfolgt an anderer Stelle.

Freiburg i. Br., Physikalisches Institut der Universität, den 20. Juni 1938. E. PLÖTZE.

[1] P. DEBYE u. W. RAMM, Ann. d. Phys. (5) **28**, 28 (1937).
[2] F. H. MÜLLER, Physik. Z. **38**, 498 (1937).
[3] R. LUTHI, Helvet. Physica Acta **6**, 139 (1933).

Ein Zeiteffekt bei der raschen Dehnung von Kautschuk.

Zu unserer unter obigem Titel erschienenen kurzen Originalmitteilung[1] teilt uns Herr Prof. THIESSEN liebenswürdigerweise mit, daß auf die Bedeutung von Zeiteffekten bei der Einordnung der Molekülketten nach dem Dehnungsvorgang bereits von ihm und WITTSTADT[2] in einer vorläufigen Mitteilung 1935 hingewiesen wurde und dieses Thema auch bei einem Vortrag von WITTSTADT[3] auf der Tagung der nordwestdeutschen Chemiedozenten 1938 berührt wurde. Da nun der in unserer Mitteilung gebrachte Effekt, obwohl wir gewisse gemeinsame Grundlagen mit dem von THIESSEN und WITTSTADT mitgeteilten Zeiteffekt annehmen, bei einer ganz anderen Gelegenheit in Erscheinung tritt und daher der Titel unserer Mitteilung zu Mißverständnissen Anlaß geben könnte, schlagen wir für unsere Arbeit einen anderen Titel vor und zwar: „Der Einfluß der Dehnungsgeschwindigkeit auf die Spannungs-Dehnungskurven bei rascher Dehnung".

Wien, I. Chemisches Laboratorium der Universität, den 20. Juni 1938. V. HAUK. W. NEUMANN.

[1] V. HAUK u. W. NEUMANN, Naturwiss. **26**, 365 (1938).
[2] P. A. THIESSEN u. W. WITTSTADT, Z. physik. Chem. B **29**, 359 (1935).
[3] Referat: Z. angew. Chem. **51**, 178 (1938).

Ultrastrahlung und magnetische Stürme im Januar, April und Mai 1938.

Im Zusammenhang mit den starken magnetischen Störungen im Januar 1938 sind parallel laufende Ultrastrahlungsänderungen beobachtet worden. W. KOLHÖRSTER[4] mißt mit einer Zählrohrapparatur für ungefilterte vertikal einfallende Strahlung bei der Störung am 16. I. 1938 8 % und bei dem Nordlicht vom 25. I. 1938 etwa 6 % Strahlungsabnahme. V. F. HESS, R. STEINMAURER und A. DEMMELMAIR[5] finden auf dem Hafelekar (2300 m) mit einer Steinke-Standard-Apparatur hinter 7 cm Eisen + 10 cm Blei bei den obigen Störungen etwa 5 % Verminderung, außerdem auch einen deutlichen Einfluß der kurzen Störung vom 22. I. 1938. Wir möchten zur Vervollständigung dieses Materials die Ergebnisse unserer Dauerregistrierung hinzufügen.

Wir messen in einem isothermen Raum mit einer 500-l-Kammer, gefüllt mit 4,4 atü Stickstoff, die durch 10 cm Eisen gefilterte Ultrastrahlung. Die Kompensation des Ionenstromes geschieht mit einer Gegenkammer, die mit Ra-γ-Strahlung bestrahlt wird. Die statistische Schwankung des Stundenmittels der Ionisation beträgt etwa $1-2\,^0/_{00}$. Die Ultrastrahlungsabnahme setzt am 16. I. gleichzeitig mit der magnetischen Störung ein und beträgt 4 %. Am 20. I. erreicht die Intensität wieder normale Werte. Ähnlichen Verlauf zeigt die Strahlungsänderung am 25. I. (Abnahme 3 %, Abklingzeit 1,5 Tage). Am 22. I. ist kein Einfluß feststellbar. Im Januar treten, wahrscheinlich bedingt durch den stark schwankenden Witterungsablauf, neben den ange-

[4] W. KOLHÖRSTER, Naturwiss. **26**, 159 u. 218 (1938).
[5] F. HESS, R. STEINMAURER, A. DEMMELMAIR, Nature **141**, 686 (1938).

führten Änderungen noch weitere Schwankungen zweiter Art auf, welche die magnetischen Einflüsse zum Teil überdecken, so daß der genaue Zusammenhang der magentischen und der Strahlungsstörungen nicht festgelegt werden kann.

Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse am 16. IV. 1938. Der Witterungsablauf ist während der ganzen Zeit sehr ruhig, so daß der Einfluß der magnetischen Großstörung[1] gut verfolgt werden kann (Fig. 1). Nach einer leichten Erhöhung der Strahlungsintensität findet am 16. IV. 1938 8 Uhr (etwa 1,5 Stunden nach Einsatz des magnetischen Sturmes) ein steiler Abfall um etwa 2% statt. Er setzt zwischen 8.00 und 8.07 Uhr ein. Die Strahlungsintensität steigt dann unter starken Schwankungen wieder an und

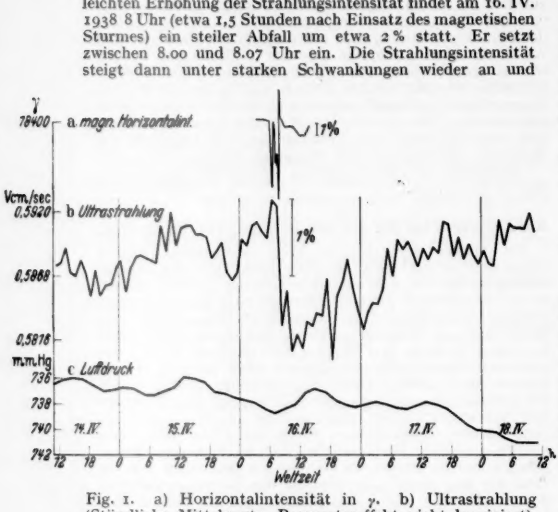


Fig. 1. a) Horizontalintensität in γ. b) Ultrastrahlung (Stündliche Mittelwerte, Barometereffekt nicht korrigiert). c) Barometerstand (Zweistündliche Mittelwerte).

erreicht nach 1,5 Tagen normale Werte. Nach einer brieflichen Mitteilung des Geophysikalischen Instituts Potsdam[2] dürfte die Änderung der Ultrastrahlungsintensität auf die Wirkung des Ringstromes zurückzuführen sein. Da dieser am 16. IV. etwa dieselbe Größe wie am 16. I. hat, erklärt sich trotz großer Verschiedenheit der Anfangsänderungen der magnetischen Intensität (H schwankt am 16. I. um 350 γ, am 16. IV. um 1900 γ) der verhältnismäßig kleine Effekt am 16. IV.

Eine weitere Störung beobachten wir auch am 11. V. Der Intensitätsabfall beginnt um 15 Uhr (die magnetische Störung setzt kurz vor 16 Uhr ein) und beträgt etwa 1%. Der weitere Verlauf ist komplizierter als am 16. IV. Nach kurzer Erholung fällt die Strahlung unter starken Schwankungen noch weiter ab und erreicht ihr Minimum am 12. V. abends (Gesamtabnahme etwa 1,7%), um dann langsam und unregelmäßig wieder anzusteigen. Am 14. V. ist die Störung beendet.

Freiburg i. Br., Physikalisches Institut der Universität, den 22. Juni 1938. E. G. Steinke. A. Sittkus.

Über den Aufbau der Chrom-Molybdän-Legierungen.

Es wurde eine systematische Röntgenanalyse des Systems Chrom-Molybdän durchgeführt. Insgesamt 13 Legierungen wechselnder Zusammensetzung wurden nach dem Sinterverfahren aus Elektrolyt-Chrom (1,0% Chromoxydgehalt) und chemisch reinem Molybdän hergestellt. Die Pulvermischungen wurden zu Vierkantstäben von den Abmessungen 4 × 3 × 50 mm gepreßt, bei 1200° in Wasserstoffatmosphäre vorgesintert und dann im Wasserstoffvakuum durch direkte Widerstandserhitzung durchgeschmolzen, wobei die Schmelzpunkte mikropyrometrisch beobachtet wurden. Sämtliche Legierungen wurden analysiert, und zwar wurde der Chromgehalt potentiometrisch mit $^1/_{10}$-$SnCl_2$-Lösung[1] ermittelt.

Die beobachteten Schmelzpunkte der Legierungen (Cr-Schmp. = 1770° C) lassen ein Minimum bei etwa 15 At-% Mo und 1700° erkennen. Pulverdiagramme der durchgeschmolzenen Proben ergaben, daß eine lückenlose Mischkristallreihe vorliegt. Die Gitterkonstante des Mischkristalls ändert sich annähernd linear mit der atomaren Zusammensetzung der ganzen Legierungsreihe. Diese einphasige Struktur konnte auch mikrographisch bestätigt werden. Die Ergebnisse der Röntgenanalyse können nicht mit dem zur Zeit bekannten Zustandsdiagramm dieser Legierungsreihe in Einklang gebracht werden, welches nach thermoanalytischen Untersuchungen[2] ein Eutektikum (b. 1460°) aus Chrom und einem Mo-reichen Mischkristall aufweisen soll.

Die Untersuchungen werden mit Unterstützung des „*Fundusz Kultury Narodowej*“ durchgeführt.

Lemberg (Lwów), Institut für anorganische Chemie der Technischen Hochschule, den 26. Juni 1938.

W. Trzebiatowski. H. Ploszek.

Zur Ernährungsphysiologie der Hausbockkäfer-Larven (Hylotrupes bajulus L.)

Der Hausbockkäfer, der sich in den letzten Jahren zu einem gefährlichen Großschädling entwickelt hat, nimmt unter den holzfressenden Insekten eine Sonderstellung ein. Als einziger deutscher Bockkäfer kann er seine Larvenentwicklung ausschließlich in altem, trockenem Bauholz vollziehen, und unter den übrigen holzzerstörenden Insekten mit gleicher Lebensweise wurden bei ihm allein bislang keine Symbionten gefunden, die man in Beziehung zur Holzernährung hätte setzen können. Die Erforschung der Ernährungsphysiologie des Hausbocks ist nicht nur wegen der Sonderstellung des Tieres von wissenschaftlichem Interesse, sondern auch als Wegweiser für eine wirksame Bekämpfung unentbehrlich.

Die grundlegenden Untersuchungen von K. Schuch[3] über den Nahrungswert der einzelnen Bereiche eines Kiefernstammes zeigten, daß Kernholz für die Ernährungs unbrauchbar ist und daß im Splintholz ein sehr deutliches Gefälle des Nahrungswertes von der Außenseite des Stammes nach innen zu besteht (in 163 Tagen 4—6mal größere Gewichtszunahme). Die jüngsten Jahresringe fördern das Wachstum am meisten. Gedämpftes Holz hat einen geringeren Nährwert für die Larven als das ungedämpfte Vergleichsholz. Schließlich fand K. Schuch[4], daß blaufaules Kiefernholz als Nahrung für die Hausbocklarven sehr günstig ist. Die Zellulose stellt also nicht den einzigen Bestandteil der Nahrung dar, sondern auch Zellinhaltsstoffe müssen von Bedeutung sein.

Im Institut für Werkstoff-Biologie des Staatlichen Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem wird gegenwärtig der Versuch unternommen, die — nach den genannten Untersuchungen — außer der Zellulose für die Larvenernährung wesentlichen Zellinhaltsstoffe zu finden. Da die Versuche bis zum Abschluß noch längere Zeit erfordern, soll über einige bereits vorliegende Ergebnisse ein vorläufiger Bericht gegeben werden. Die Ausführung der Versuche wird in der später folgenden Veröffentlichung mitgeteilt werden. Verwendet wurden sorgfältig ausgewählte Kiefernholzklötzchen und künstliche Klötzchen von bekannter stofflicher Zusammensetzung. Diesen Klötzchen wurden die geprüften Stoffe in bestimmter Menge zugesetzt.

Versuche mit löslicher Stärke verliefen bisher negativ. (Nach neueren englischen Untersuchungen ernährt sich z. B. Lyctus fast ausschließlich von Stärke, und auf natürlichem oder künstlichem Wege stärkefrei gemachtes Holz ist gegen Lyctus geschützt.) — Malzlösung ergab eine deutliche Zunahme des Larvenwachstums (in 70 Tagen durchschnittlich etwa 3fach) gegenüber den Vergleichstieren. Doch wurde nach Glucose-Fütterung ein völlig negativer Befund festgestellt. Also dürfte bei der Malzlösung nicht die Maltose die Gewichtszunahme bedingen. — Versuche mit anderen Hexosen, mit Pentosen (bei denen ein Erfolg für wahrschein-

[1] J. Bartels u. G. Fanselau, Naturwiss. 26, 296 (1938).
[2] Wir danken Herrn Prof. Bartels sehr für diesen Hinweis und freundliche Überlassung des magnetischen Materials.

[1] W. Trzebiatowski, Z. anal. Chem. 82, 45 (1930).
[2] E. Siedschlag, Z. anorg. u. allg. Chem. 131, 191 (1923).
[3] K. Schuch, Z. Pflanzenkrkh. (Pflanzenpath.) 47, 572 bis 585 (1937).
[4] Nach mündlicher Mitteilung.

licher gehalten wird), Vitaminen, Phytohormonen und Salzen sind noch nicht abgeschlossen.

Jedoch gab es ein außerordentlich eindeutiges Ergebnis, als der Einfluß von Eiweißstoffen auf die Hausbocklarvenernährung geprüft wurde. Verwendet worden war zunächst Pepton der Firma Witte, Rostock. (Die folgenden Zahlen beziehen sich auf einen durchschnittlichen Peptongehalt von 2,2%, bezogen auf das Holzgewicht.) Die Gewichtszunahme der peptongefütterten Larven war durchschnittlich 10—15mal so groß wie die der Larven in den unbehandelten Vergleichshölzern. Die Gewichtszunahme betrug bei mittelgroßen Larven in 70 Tagen durchschnittlich 142% des Anfangsgewichtes (maximal 220%, minimal 66%) gegenüber durchschnittlich 13% (maximal 35%, minimal −12%) bei den Vergleichstieren. (Kiefernsplint, äußere Lage.) Das bedeutet eine erhebliche (bei der langen Larvenentwicklung sehr erwünschte) Verkürzung der Entwicklungszeit der Versuchstiere. Trotz der vielmal größeren Gewichtszunahme bei Pepton-Zusatz ist die Menge des zerstörten Holzes nicht größer als bei den an Gewicht entsprechenden Vergleichstieren. Entscheidend für das raschere Wachstum der Larven ist also die aufgenommene Eiweißmenge und nicht eine größere Holzmenge (etwa auf Grund regerer Fraßtätigkeit). Auch war bei stärkerem Pepton-Gehalt der Versuchsklötzchen der Gewichtszuwachs der Larven größer als bei geringerem.

Weitere Versuche mit anderen Eiweißstoffen verschiedener Herkunft und Zusammensetzung sind noch nicht zu Ende geführt. Es darf aber wohl bereits jetzt die Schlußfolgerung gezogen werden, daß neben der Zellulose die Eiweißstoffe im Holz — zumindest neben anderen — für die Ernährung der Hausbocklarven eine wesentliche Bedeutung haben. (Ein so erheblicher Unterschied gegenüber den Vergleichstieren war keineswegs ohne weiteres zu erwarten. Nach der einzigen darüber bisher vorliegenden Untersuchung von E. SCHLOTTKE[1] können Insekten (Schaben), bei Verfütterung von Zusatzstoffen zur normalen Nahrung nicht die Zusammensetzung ihres Fermentspiegels anpassen, sondern nur die Menge eines an sich vorhandenen Fermentes ändern). Für die Hausbocklarven ist also die Entwicklungsmöglichkeit in verbautem Nadelholz keineswegs optimal — zunächst kann allein der Eiweißstoffwechsel beurteilt werden — sondern die Hausbocklarven sind nur als einzige Cerambycidenlarven in der Lage, ausschließlich von solchem Holz zu leben. (Entsprechendes wurde auch für andere Material-Schädlinge festgestellt.)

Versuche mit Holzklötzchen, die eine bestimmte Zeit lang dem Angriff holzzerstörender Pilze ausgesetzt waren (*Poria, Coniophora, Lenzites*) ergaben, daß in einem bestimmten Stadium des Pilzangriffs das Wachstum der nachträglich in diese Klötzchen gesetzten Larven merklich größer ist als das der Vergleichstiere. Pilzbefall des Holzes kann also unter gewissen Bedingungen die Hausbockentwicklung begünstigen. Das Ausmaß der Holzzerstörung durch die Larven ist bei den pilzbefallenen größer als bei den gesunden Vergleichsklötzchen. Eine Klärung der Frage, worauf die günstige Wirkung des Pilzbefalls beruht, wird versucht, zum Teil im Zusammenhang mit ähnlichen Erscheinungen bei anderen Holz-Schädlingen. (Vielleicht ist hier wie bei der Malzlösung ebenfalls die Anreicherung von Stickstoff-Verbindungen im Holz entscheidend.)

Berlin-Dahlem, Staatliches Materialprüfungsamt, Institut für Werkstoff-Biologie, den 30. Juni 1938.

GÜNTHER BECKER.

[1] E. SCHLOTTKE, Z. vergl. Physiol. **24**, 463—492 (1937).

[2] F. MÖGLICH, Naturwiss. **1938**, 409.

Zur Frage des Zusammenhangs der universellen physikalischen Konstanten.

Die kürzlich in dieser Zeitschrift erschienenen Ausführungen von F. MÖGLICH[2] über die Existenz einer Maximalfrequenz der Materiewellen (im Zusammenhang mit der Frage des Massenverhältnisses Elektron-Neutron) dürften vielleicht geeignet sein, etwas zur Aufklärung des seltsamen numerischen Mißverhältnisses

$$\frac{e^2}{f \cdot m_+ \cdot m_-} = 2{,}33 \cdot 10^{39} \qquad (1)$$

von elektrostatischen und Gravitationskräften zwischen Protonen und Elektronen beizutragen, das bisher „für jeden Versuch, die Konstitution des Elektrons eindeutig aus allgemeinen Feldgesetzen herzuleiten, ein böses Fragezeichen" bedeutete (H. WEYL[1]). Wenn im Anschluß an Überlegungen von HEISENBERG[2] und MARCH[3] nach MÖGLICH (a. a. O.) für die Frequenzen der Materiewellen eine *obere Grenze*, etwa die der Protonenwellenlänge $L_p = h/m_+ \cdot c$ entsprechende maximale Frequenz

$$\nu_{max} = \frac{m_+ \cdot c^2}{h} = 2{,}29 \cdot 10^{23}\ \mathrm{sec}^{-1} \qquad (2)$$

anzunehmen ist, so ist es physikalisch sinnvoll, auch eine *untere Grenze* des Frequenzintervalls zu fordern, die aus der Lichtgeschwindigkeit c und einer kosmischen Längendimension zu errechnen wäre, *da offensichtlich „überkosmische Längenmaße" physikalisch sinnlos wären*, da die Wellenfunktionen (etwa der DIRACschen Gleichung) für eine geschlossene Welt außer von der Zeit nur von Raumkoordinaten abhängen können, die unterhalb einer oberen Schranke bleiben. Nehmen wir als ein derartiges kosmisches Längenmaß den „Weltdurchmesser" an, d. h. den doppelten Krümmungsradius R des sphärischen Raumes (der statischen Zylinderwelt):

$$2R = 2/\sqrt{\lambda}\,,$$

wobei λ die kosmologische Konstante der relativistischen Feldgleichungen bedeutet, so können wir dieser Größe die Frequenz $c/2R = c\sqrt{\lambda}/2$ bzw. durch Multiplikation mit 2π die Kreisfrequenz

$$\nu_{min} = \pi c\sqrt{\lambda} = 9{,}86 \cdot 10^{-17}\ \mathrm{sec}^{-1} \qquad (3)$$

zuordnen (berechnet aus dem HUBBLE-Faktor $c\sqrt{\lambda/3} = 1{,}80 \cdot 10^{-17}\ \mathrm{sec}^{-1}$), die wir als physikalisch zulässige Minimalfrequenz auffassen wollen.

Das Verhältnis von Maximal- und Minimalfrequenz

$$\nu_{max}/\nu_{min} = 2{,}32 \cdot 10^{39} \qquad (4)$$

stimmt nun mit dem Verhältnis (1) *von elektrostatischen und Gravitationskräften zwischen Proton und Elektron innerhalb der Fehlergrenzen der Konstantenbestimmung überein* und würde unter Annahme völliger Gleichheit durch Gleichsetzung von (1) und (4) zu der Beziehung

$$\sqrt{\lambda} = \frac{f \cdot m^2{}_+ \cdot m_- \cdot c}{\pi h e^2} = \left(\frac{2fm_-}{c^2}\right) \cdot \left(\frac{m_+ \cdot c}{h}\right)^2 \cdot \left(\frac{h c}{2\pi e^2}\right) \qquad (5)$$

führen, in Übereinstimmung mit meinem früher erhaltenen Resultat[4].

Berlin, Meteorologisches Institut der Universität, den 4. Juli 1938. H. ERTEL.

Zur Kristallstruktur von YF_3.

YF_3 kristallisiert kubisch. Aufnahmen mit Ag als Eichsubstanz ergeben eine Gitterkonstante $a = 5{,}644 \pm 0{,}003$ Å. Die beobachteten Reflexe lassen auf die wahrscheinlichen Raumgruppen T^1, T^1_d, T^1_h, T^6_h, O^1, O^1_h schließen. Mit der pyknometrisch bestimmten Dichte $\sigma_p = 4{,}01$ erhält man $Z = 2{,}99 \approx 3$ Moleküle pro Elementarzelle; die röntgenographische Dichte wird gleich 4,017. Mit $Z = 3$ fällt T^6_h dahin.

Das Resultat der Bestimmung der Atomlagen wird in einer ausführlichen Mitteilung demnächst erscheinen.

Bern (Schweiz), Mineralogisches Institut, den 5. Juli 1938.
W. NOWACKI.

[1] H. WEYL, Raum, Zeit, Materie. 5. Aufl. S. 277. Berlin 1923.

[2] W. HEISENBERG, Ann. Physik (5) **32**, 20 (1938).

[3] A. MARCH, Z. Physik **104**, 93, 161 (1936); **105**, 620; **106**, 49 (1937).

[4] H. ERTEL, Sitzgsber. Akad. Wiss. Berl. **1935**, 1 — Naturwiss. **1935**, 70.

Besprechungen.

MÜLLER, ROLF, **Astronomisches ABC für jedermann.** Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1938. IV, 158 S., 6 Taf. und 113 Abbild. 14 cm × 20 cm. Preis geb. RM 8.50.

Dieses für die Freunde der Himmelskunde von einem Fachastronomen verfaßte astronomische Wörterbuch füllt eine empfindliche Lücke in der populären Literatur aus und wird daher sicherlich von allen, die sich ernsthaft mit Astronomie beschäftigen, freudig begrüßt werden. Die entschieden sehr schwierige Aufgabe, auf dem beschränkten Raum eine allgemeinverständliche Darstellung der Forschungsergebnisse aller Zweige der Astronomie zu geben, wurde von dem Verfasser auf das glücklichste gelöst. Es wird wohl kaum eines unter den den Liebhaberastronomen interessierenden Problemen geben, über das er in dem „Astronomischen ABC" nicht Auskunft erhalten könnte. Daß überall die neuesten Forschungsresultate berücksichtigt sind, bedarf bei einem Werk, das von einem selbst in der Forschung stehenden Gelehrten geschrieben ist, wohl kaum der Erwähnung. Erfreulich aber ist vor allem, daß neben der selbstverständlichen Erklärung der Begriffe aus der sphärischen Astronomie, Astrometrie und Himmelsmechanik auch die Astrophysik nicht zu kurz gekommen ist, so daß neben einer gedrängten Darstellung der Grundlagen des Atombaues auch das periodische System der Elemente zum Abdruck gebracht wurde, und man beispielsweise sogar eine kurze Beschreibung des Zeemann-Effektes findet. Ebenso werden die auf S. 119 wiedergegebenen Farbenempfindlichkeitskurven von Photoplatten (nach STOBBE) allen, die sich mit Astrophotographie beschäftigen, willkommen sein. Auch dem Fachgelehrten dürften mancherlei Angaben, die er sich für gewöhnlich mühsam aus der einschlägigen Literatur zusammen suchen muß, von Nutzen sein. (So z. B. die Darstellung des Temperaturverlaufes auf der Mondoberfläche [Abb. 92, S. 141].)

Leider wird der Wert des verdienstvollen Büchleins durch eine Reihe von Druckfehlern und auch von sachlichen Fehlern etwas herabgesetzt. Gerade in einem Werk, das sich an den Nichtfachmann wendet, der die mitgeteilten Ergebnisse im allgemeinen ohne weitere Prüfung auf Treu und Glauben anerkennen muß, sollte auf sachlich einwandfreie Darstellung der größte Wert gelegt werden. Die Fehler werden sich bei einer Neuauflage jedoch leicht vermeiden lassen.

Dem Werk ist eine recht weite Verbreitung zu wünschen, vor allem im Kreise der Liebhaberastronomen, denen das „Astronomische ABC" sicher bald zu einem unentbehrlichen Ratgeber werden wird.

H. LAMBRECHT, Breslau.

CLARA, MAX, **Entwicklungsgeschichte des Menschen.** Leipzig: Quelle u. Meyer 1938. XII, 479 S. und 204 Abbild. 14 cm × 22 cm. Preis in Leinen RM 12.—.

Es ist gewiß nicht leicht, auf begrenztem Raum eine Darstellung von der Entwicklungsgeschichte des Menschen zu geben, und zwar so, daß sie nicht wie ein isoliertes und dabei bloß deskriptiv behandeltes Spezialgebiet erscheint, sondern einerseits verwurzelt erscheint in dem, was man über die Entwicklungsweisen der Organismen überhaupt erkannt hat, andererseits aber auch hinausführt in Gebiete des praktischen ärztlichen Erkennens, so z. B. ins Gebiet der angewandten Entwicklungsgeschichte, wie sie etwa der Arzt für die Beurteilung von ihm vorgefundener Entwicklungsstörungen so notwendig braucht. CLARA ist dieser Schwierigkeit in einem hohen Grade Herr geworden, und man kann dem Studenten wie dem Praktiker mit gutem Gewissen sein Buch empfehlen. Es wäre nun sehr reizvoll, den Inhalt des Buches im einzelnen hier nachzuzeichnen; ich muß mich aber damit begnügen, einige Hauptzüge anzudeuten. CLARA hat sein Buch in drei Hauptteile gegliedert.

Der erste handelt von Entwicklung, Bau und Biologie der männlichen und weiblichen Geschlechtszellen, von der Reifung, der Befruchtung und den Grundlagen des Erbmechanismus einschließlich der Geschlechtsbestimmungsfragen und der mit ihnen zusammenhängenden Verhältnisse der geschlechtsgekoppelten Vererbung.

Der zweite Hauptteil bringt die Primitiventwicklung von der Furchung bis zur „Urkörper"bildung in vergleichender Darstellung bis einschließlich zum Menschen. Der Verf. erschöpft sich hier erfreulicherweise nicht in bloßer Beschreibung, sondern erörtert auch ausgiebig Wesen und kausale Verknüpfung fast aller berührten Entwicklungsvorgänge, und indem er das Determinations-, Induktions- und Organisationsgeschehen in der frühen Entwicklung erläutert, gibt er auch die wichtigsten Grundlagen zum Verständnis der Lehre von den Mehrlings- und Mehrfachbildungen wie auch von den Mißbildungen, die ja in neuerer Zeit, zusammen mit der Erblehre, wieder mehr in die Interessensphäre auch des Praktikers gerückt ist. Das Kapitel enthält ferner eine ausgezeichnete Darstellung von der Entstehung der embryonalen Hüllen wie auch von der Placentation und den Geburtsvorgängen. Hier, wie überall in diesem Buche, steht nie das Tatsächliche beziehungslos da; überall sind die Dinge in wohlerwogenen und didaktisch sehr gut gesehenen Zusammenhängen erläutert.

Der dritte Hauptteil behandelt die Entwicklung der Organsysteme und Organe. Auch hier wird der größtenteils ja bekannte Stoff in neuer lebendiger Form und vorzüglicher Anordnung klar und dabei stets umsichtig vermittelt. Es fällt hier wie im ganzen Buch auf, daß der Verf. es verstanden hat, auch die *neueren* Ergebnisse lehrbuchmäßig vorzüglich einzuordnen; und zur Zeit gibt es sicher kein *moderneres* Buch über unseren Gegenstand, als das von M. CLARA. Ich kann das Buch nicht nur den Medizinstudenten und dem praktischen Arzt, der seine Kenntnisse auffrischen will, ich kann es ebensosehr dem Naturwissenschaftler, insbesondere dem Zoologen, als vortreffliche, nicht zu umfangreiche Darstellung unseres entwicklungsgeschichtlichen Denkens und Wissens warm empfehlen.

Das Buch ist reichlich bebildert, mit meist etwas schematisierten Zeichnungen, die klar und aufschlußreich sind. Den Schluß bildet ein kapitelweise gegliedertes Schriftenverzeichnis. Die neue anatomische Nomenklatur ist bereits angewendet.

Für künftige Auflagen scheint mir wünschenswert: 1. Durchsetzung der schematischen Zeichnungen auch mit Originalen, die die histologische Stofflichkeit des wirklichen Objekts an sich haben; und 2. eine ausgiebigere Bearbeitung und vor allem Bebilderung der entwicklungsmechanischen Ausführungen über Induktion und Organisation in den Kapiteln über Gastrulation und Keimblätterbildung, welche die *kausalen* Verknüpfungen in den sich entwickelnden Systemen noch eindringlicher werden lassen könnte.

Die Ausstattung des Buches ist innerlich wie äußerlich buchtechnisch gut, der Preis ist angemessen.

H. BAUTZMANN, Hamburg.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÖFFERT, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.